



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RG141536

PENERAPAN METODE PS-INSAR (PERMANENT SCATTERER INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR) UNTUK ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH KOTA GRESIK JAWA TIMUR

RIZKI FAHRUDIN ULIN
NRP 0331144000076

DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. MUHAMMAD TAUFIK
IRA MUTIARA ANJASMARA, ST., M.PHIL, PH.D

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

TUGAS AKHIR - RG141536

**PENERAPAN METODE PS-INSAR (PERMANENT
SCATTERER INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE
RADAR) UNTUK ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH
KOTA GRESIK JAWA TIMUR**

RIZKI FAHRUDIN ULIN
NRP 03311440000076

DOSEN PEMBIMBING
DR. IR. MUHAMMAD TAUFIK
IRA MUTIARA ANJASMASRA, S.T, M.PHIL, PH.D

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

UNDERGRADUATE THESIS - RG141536

**APPLICATION OF PS-INSAR METHOD (PERMANENT
SCATTERER INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE
RADAR) FOR LAND SUBSIDENCE ANALYSIS IN GRESIK
CITY EAST JAVA**

RIZKI FAHRUDIN ULIN
NRP 033114 4000 0076

SUPERVISOR
DR. IR. MUHAMMAD TAUFIK
IRA MUTIARA ANJASMASRA, S.T, M.PHIL, PH.D

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environment, Geoscience
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PENERAPAN METODE PS-INSAR (PERMANENT
SCATTERER INTERFEROMETRY SYNTHETIC
APERTURE RADAR) UNTUK ANALISIS
PENURUNAN MUKA TANAH KOTA GRESIK
JAWA TIMUR**

Nama	: Rizki Fahrudin Ulin
NRP	: 03311440000076
Jurusan	: Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing	: Dr. Ir. Muhammad Taufik Ira Mutiara Anjasmastra, S.T, M.Phil, Ph.D

ABSTRAK

Kota Gresik merupakan sebuah kota di provinsi Jawa Timur yang secara geografis terletak pada koordinat 112°21'57.4"-112°40'38.8" BT dan 6°50'29.2" - 7°24'30.2" LS dengan luas wilayah sekitar 1.191,25 km². Kota Gresik merupakan salah satu dari beberapa kota pesisir di Indonesia yang secara geologi terbentuk dari endapan aluvial. Adapun karakteristik dari endapan aluvial ini adalah tanahnya masih mengalami proses konsolidasi. Proses ini mengakibatkan terjadinya penurunan muka tanah pada daerah tersebut. Selain itu, pengambilan air tanah dan pengaruh beban permukaan juga berkontribusi dalam terjadinya penurunan muka tanah di Gresik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar nilai penurunan muka tanah di Kota Gresik dengan metode PS-InSAR. PS-InSAR adalah merupakan pengembangan dari teknik InSAR konvensional membahas masalah dekorelasi dan penundaan atmosfer. Data yang digunakan adalah citra SENTINEL level 1.0 A dengan akuisisi data Mei 2015 hingga Januari 2017 sebanyak 23

citra. Metode PS-InSAR yang digunakan dengan *Shuttle Radar Topography* (SRTM) sebagai *Digital Elevation Model* (DEM) referensi untuk topografi. Proses PS-InSAR ini diproses dengan menggunakan *software* SNAP dan Matlab (untuk proses StaMPS) untuk analisis nilai penurunan muka tanah.

Hasil dari penelitian PS-InSAR menunjukkan terjadi penurunan muka tanah (*subsidence*) di kota Gresik dengan kecepatan penurunan muka tanah rata-rata tertinggi pada pasangan citra pengolahan tahap pertama sebesar -49,53 mm/tahun pada daerah Kecamatan Bungah. Untuk mendukung data hasil pengolahan ini, maka dilakukan evaluasi terhadap kondisi geologi Kota Gresik dan Fenomena alam yang terjadi selama waktu akuisisi data penelitian dilakukan.

Kata Kunci : PS-InSAR, Penurunan Muka Tanah, StaMPS.

**APPLICATION OF PS-INSAR METHOD
(PERMANENT SCATTERER INTERFEROMETRY
SYNTHETIC APERTURE RADAR) FOR LAND
SUBSIDENCE ANALYSIS IN GRESIK CITY EAST
JAVA**

Name : Rizki Fahrudin Ulin
NRP : 03311440000076
Department : Geomatics Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Dr. Ir. Muhammad Taufik
Ira Mutiara Anjasmasra, S.T, M.Phil,
Ph.D

ABSTRACT

Gresik city is a city located in East Java province which is geographically located 112°21'57.4"- 112°40'38.8" East Longitude and 6°50'29.2" - 7°24'30.2" South Latitude with an area of about 1.191,25 km². Gresik City is one of the few coastal cities in Indonesia that are generally formed from alluvial deposits. As for the characteristics of this alluvial sediment, the soil is still undergoing a consolidation process. This process generated in a decrease in the face of the land in the area. In addition, groundwater retrieval and the impact of surface loads also contribute to the decrease of ground level in Gresik.

The purpose of this research is to know the value of decreasing ground level in Gresik City with PS-InSAR method. PS-InSAR is a development of conventional InSAR techniques addressing the problem of atmospheric decorrelation and delays. The data used in this research is SENTINEL level 1.0 A image with data acquisition in May 2015 to January 2017 as many as 23 images. The PS-InSAR method used with the Shuttle Radar Topography (SRTM) as a Digital Elevation Model (DEM) reference for topography. The PS-InSAR process is processed using SNAP and Matlab software (for

the StaMPS process) and uses a combination of Geographic Information System (GIS) for the analysis of land subsidence.

The result of PS-InSAR study shows that there is a decrease of ground surface (subsidence) in Gresik city with the highest average land subsidence rate on the first stage image processing pair of - 49.53 mm / year in Bungah Subdistrict. To support the results of this processing data, then the evaluation of the geological condition of Gresik City and natural phenomenon that occurred during the data acquisition time of the research conducted.

Keyword : PS-InSAR, Land Subsidence, StaMPS.

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN METODE PS-INSAR (PERMANENT SCATTERER INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR) UNTUK ANALISIS PENURUNAN MUKA TANAH KOTA GRESIK JAWA TIMUR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZKI FAHRUDIN ULIN
NRP. 03311440000076

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Ir. Muhammad Taufik
NIP. 19550919 198603 1 001

()

Ira M. Anjasmara S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19781231 200212 2 001



SURABAYA, 30 JUN 2018
TEKNIK GEOMATIKA

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga laporan tugas akhir dengan judul **“Penerapan Metode PS-InSAR (Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar) Untuk Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Gresik Jawa Timur”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Selama pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Orang tua beserta seluruh keluarga penulis yang selama pelaksanaan tugas akhir hingga pembuatan laporan ini memberikan inspirasi, semangat, kasih sayang, seluruh dukungan, bantuan dan dorongan kepada penulis baik secara moral maupun berupa material.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, ST, MSc, Ph.D, selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Taufik selaku dosen pembimbing 1 atas segala bimbingan dan sarannya.
4. Ibu Ira Mutiara Anjasmasra, S.T, M.Phil, Ph.D selaku dosen pembimbing 2 atas segala bimbingan dan sarannya.
5. Ibu Noorlaila Hayati, S.T, M.T selaku dosen konsultasi untuk teori PS-InSAR dan pengolahan StaMPS yang sedang mengambil Ph.D di *Technische Universität Braunschweig*.
6. Sindy Ayu Yulyta sebagai kakak tingkat yang telah memberikan motivasi dan bimbingan terkait SAR, InSAR, dan GMTSAR.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Geomatika angkatan 2014 yang telah menemani selama ini.

8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
9. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat kekurangan-kekurangan sehingga penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan sebagai pembelajaran bagi penulis untuk menjadi lebih.

Akhir kata, penulis mengucapkan mohon maaf yang sebesar-besarnya dan ucapan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan	5
1.5 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penginderaan Jauh.....	7
2.2 RADAR (<i>Radio Detection and Ranging</i>).....	7
2.3 SAR (<i>Synthetic Aperture Radar</i>).....	9
2.4 InSAR (<i>Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>)	11
2.5 PS-InSAR (<i>Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar</i>).....	12
2.5.1 Fasa (<i>Phase</i>)	15
2.5.2 Koregistrasi Citra.....	16
2.5.3 Koherensi Citra.....	17
2.6 Sentinel-1	17
2.7 Penurunan muka tanah	20
2.8 Kondisi Geologi Kota Gresik.....	23
2.9 Penelitian terdahulu.....	25
BAB III METODOLOGI	29
3.1 Lokasi Penelitian	29
3.2 Data dan Peralatan.....	30

3.2.1 Data.....	30
3.2.2 Peralatan	35
3.3 Metodologi Pelaksanaan Pengolahan	36
3.3.1 Tahapan Penelitian.....	36
3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan PS-InSAR...	39
3.3.3 Tahapan Pengolahan PS-InSAR dengan StaMPS	43
BAB IV HASIL DAN ANALISA.....	57
4.1 Hasil Pengolahan Data SAR	57
4.1.1 Panjang Baseline dan Interval Waktu	57
4.1.2 Interferogram Phase.....	60
4.1.3 <i>Topographic Phase Removal</i>	64
4.1.4 Koherensi Citra SAR	65
4.1.5 Nilai Fase <i>Unwrapping</i>	69
4.2 Analisis Besar Penurunan Muka Tanah Area Studi	72
4.2.1 Sebaran titik PS Tahap Pertama.....	73
4.2.2 Sebaran titik PS Tahap Kedua	76
4.2.3 Simpangan Baku Hasil Pengolahan PS-InSAR	79
4.3 Analisis Terhadap Kondisi Geologi Daerah Penelitian.....	81
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	91
BIODATA PENULIS.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Geometri Pencitraan RADAR	8
Gambar 2. 2 Teknologi Permanent Scatterer InSAR	13
Gambar 2. 3 Geometri Metode PS-InSAR Per Titik Pengamatan	14
Gambar 2. 4 Fase pada sebuah gelombang	15
Gambar 2. 5 <i>Sentinel-1 Product Modes</i>	19
Gambar 2. 6 Retakan dan amblesan yang terjadi di jalan Daendels, Gresik.	21
Gambar 3. 1 Peta Administrasi Kabupaten Gresik (sumber: <i>Bathymeric Topography</i> , GINA 2013)	29
Gambar 3. 2 Peta Geologi kabupaten Gresik dan sekitarnya. (sumber : Sukardi 1992)	34
Gambar 3. 3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	37
Gambar 3. 4 Tahapan Umum Pengolahan PS-InSAR.....	39
Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR dengan SNAP	44
Gambar 3. 6 Lanjutan diagram Alir Pengolahan PS-InSAR dengan SNAP.....	45
Gambar 3. 7 S-1 TOPS Split untuk memilih salah satu <i>sub-swath</i>	46
Gambar 3. 8 Informasi untuk menentukan citra <i>master</i> yang optimal	47
Gambar 3. 9 Proses koregistrasi dengan <i>Backgeocoding</i>	48
Gambar 3. 10 <i>Intensity Band</i> a) sebelum <i>deburst</i> ; b) setelah <i>deburst</i>	49
Gambar 3. 11 Fase <i>Interferogram</i>	50
Gambar 3. 12 Proses StaMPS Export pada SNAP	52
Gambar 4. 1 Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 1 Mei 2015; (b) fase 1 April 2016 – 25 Mei 2015; (c) fase 1 April 2016 – 18 Juni 2015; (d) fase 1 April 2016 – 12 Juli 2015.....	60
Gambar 4. 2 Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 29 Agustus 2015; (b) fase 1 April 2016 – 22 September	

	2015; (c) fase 1 April 2016 – 16 Oktober 2015; (d) fase 1 April 2016 – 9 November 2015; (e) fase 1 April 2016 – 3 Desember 2015; (f) fase 1 April 2016 – 20 Januari 2016.....	61
Gambar 4. 3	Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 13 Februari 2016; (b) fase 1 April 2016 – 8 Maret 2016; (c) fase 1 April 2016 – 25 April 2016; (d) fase 1 April 2016 – 19 Mei 2016; (e) fase 1 April 2016 – 12 Juni 2016; (f) fase 1 April 2016 – 6 Juli 2016.....	62
Gambar 4. 4	Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 23 Agustus 2016; (b) fase 1 April 2016 – 16 September 2016; (c) fase 1 April 2016 – 10 Oktober 2016; (d) fase 1 April 2016 – 27 November 2016; (e) fase 1 April 2016 – 21 Desember 2016; (f) fase 1 April 2016 – 14 Januari 2017.....	63
Gambar 4. 5	Fase setelah tahap penghapusan efek topografi.....	64
Gambar 4. 6	Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 18 Juni 2015; (b) 1 April 2016 – 12 Juli 2015; (c) 1 April 2016 – 29 Agustus 2015; (d) 1 April 2016 – 22 September 2015; (e) 1 April 2016 – 15 Oktober 2015; (f) 1 April 2016 – 9 November 2015.....	66
Gambar 4. 7	Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 3 Desember 2015; (b) 1 April 2016 – 20 Januari 2016; (c) 1 April 2016 – 13 Februari 2016; (d) 1 April 2016 – 8 Maret 2016; (e) 1 April 2016 – 25 April 2016; (f) 1 April 2016 – 19 Mei 2016.....	67
Gambar 4. 8	Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 12 Juni 2016; (b) 1 April 2016 – 6 Juli 2016; (c) 1 April 2016 – 23 Agustus 2016; (d) 1 April 2016 – 16 September 2016; (e) 1 April 2016 – 10 Oktober 2016; (f) 1 April 2016 – 27 November 2016.....	68
Gambar 4. 9	Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 21 Desember 2016; (b) 1 April 2016 – 14 Januari 2016	69

Gambar 4. 10 Fase <i>unwrapping</i> Pasangan Citra Akuisisi Tahun 2015	70
Gambar 4. 11 Fase <i>Unwrapping</i> Pasangan Citra Akuisisi Tahun 2016	71
Gambar 4. 12 Peta Sebaran titik PS Tahap Pertama	73
Gambar 4. 13 LOS <i>displacement</i> Akuisisi Tahun 2015	74
Gambar 4. 14 Grafik Kecepatan Penurunan Muka Tanah per Kecamatan	75
Gambar 4. 15 Peta Sebaran Titik PS Tahap Kedua	76
Gambar 4. 16 LOS <i>Displacement</i> Akuisisi Tahun 2016	77
Gambar 4. 17 Grafik Kecepatan Penurunan Muka Tanah per Kecamatan	78
Gambar 4. 18 Simpangan Baku Pengolahan SAR Tahap 1	79
Gambar 4. 19 Simpangan Baku Pengolahan SAR Tahap 2	80
Gambar 4. 20 Sesar Aktif yaitu Sesar Surabaya dan Sesar Waru (sumber : Koulali dkk. 2016)	82
Gambar 4. 21 Sesar Aktif Rembang di Pulau Jawa	83

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Informasi Data Sentinel 1-A.....	30
Tabel 4. 1 <i>Baseline Perpendicular</i> dan <i>Temporal</i> Pengolahan SAR	57

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Metadata Data SAR Sentinel 1A Tahap Pertama
Tanggal Akuisisi 1 April 2016
- Lampiran 2. Metadata Data SAR Sentinel 1A Tahap Kedua
Tanggal Akuisisi 1 April 2016
- Lampiran 3. Baseline Perpendicular Pengolahan PS-InSAR
- Lampiran 4. Peta Sebaran Titik PS-InSAR Kabupaten Gresik
Tahap 1
- Lampiran 5 Peta Sebaran Titik PS-InSAR Kabupaten Gresik
Tahap 2

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gerakan turunnya muka tanah terjadi pada beberapa kota di Indonesia terutama kota yang berada pada kawasan pantai dengan jenis tanah Aluvial (endapan lepas yang tertransportasi ke tempat lain atau tidak berada di sekitar batuan induk yang berukuran butiran berupa pasir dan lempung), Grumusol, Mediteran Merah (hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen) dan Litosol (tanah yang teksturnya banyak mengandung pasir kasar dan kerikil yang belum melapuk) seperti : (Prasetyo dan Subiyanto 2014), Surabaya (Aditiya dkk. 2017) dan Semarang (Gamal, 2010)(Saputro dkk. 2011). Dalam beberapa tahun terakhir seiring dengan pembangunan yang dilakukan di daerah kota industri, intensitas terjadinya bencana gerakan tanah di Indonesia semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh makin meningkatnya pemanfaatan lahan yang tidak berwawasan lingkungan pada daerah rentan gerakan tanah, serta intensitas dan durasi hujan yang tinggi (Amri dkk. 2016).

Kota Gresik adalah salah satu kota yang padat penduduk sekaligus salah satu kota industri di Jawa Timur, dengan jumlah penduduk mencapai 1.303.773 jiwa pada tahun 2015 (Dinas Komunikasi dan Informatika) dan memiliki luas wilayah 1.191,25 km². Selain itu, kota Gresik mempunyai dataran tinggi 25 meter di atas permukaan laut, dengan kelerengan 2-15% , dan adanya faktor pembatas alam berupa bentuk-bentuk batuan yang memiliki karakter sulit menyerap air (tanah *clay*). Sebagian kawasan pantai terdapat kawasan yang terabrasi dan intrusi air laut dan diperparah dengan adanya kawasan budidaya yang dibangun berbatasan langsung dengan garis pantai dengan mengabaikan sempadan pantai yang seharusnya bebas dari suatu bangunan. Sebagian besar tanah di wilayah Kabupaten Gresik terdiri dari jenis Aluvial, Grumusol, Mediteran Merah dan Litosol. Daerah Kabupaten Gresik bagian Utara (meliputi wilayah Panceng, Ujung Pangkah,

Sidayu, Bungah, Dukun, Manyar) adalah bagian dari daerah pegunungan Kapur Utara dengan adanya beberapa jenis bahan galian mineral non logam. Sebagian dari bahan mineral non logam ini telah dieksplorasi, dan sebagian lainnya sudah dalam taraf eksploitasi.

Daerah Resapan air berupa ruang-ruang terbuka hijau di Kecamatan Gresik dan Kecamatan Kebomas (RTH Gresik 2012). Penggunaan lahan untuk Ruang Terbuka Hijau di Kecamatan Gresik adalah 89,39 Ha atau sebesar 16,14 % dari total penggunaan lahan dengan penjabaran 4,59 % berupa makam, 0,91 % kolam, 7,75 % lahan kosong, 2,88 % belukar. Sementara itu, di Kecamatan Kebomas penggunaan lahan untuk Ruang Terbuka Hijau adalah 562,17 Ha atau sebesar 18,7 % dari total penggunaan lahan dengan penjabaran 0,18 % berupa makam, 1,99 % kolam, 0,92 % lahan kosong, 14,21 % belukar, 0,22 % tanah urug dan 1,19 % tambang kapur. Jadi, total Ruang Terbuka Hijau di wilayah perencanaan adalah 651,56 Ha atau sebesar 18,3 % dari total penggunaan lahan.

Fenomena banjir rob dan retaknya jalan aspal merupakan salah satu indikasi awal daerah yang mengalami penurunan muka tanah seperti yang terjadi di jalan raya Daendels Gresik yang mengalami retakan dan penurunan tanah akibat galian pipa serta pembebanan melalui infrastruktur dengan beban berat tonase yang berlebih. Selain pengaruh akibat dari pembangunan infrastruktur perkotaan, indikasi awal penurunan muka tanah juga terlihat dari struktur geologi di kabupaten Gresik. Struktur Geologi yang berkembang di daerah sedimentasi berupa perlipatan dan sesar.

Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Gresik Tahun 2010-2030 rencana peruntukan penggunaan lahan di Kabupaten Gresik adalah sebagai berikut : a) Kawasan peruntukan hutan produksi 1.017 hektar; b) Kawasan peruntukan pertanian 42.831,843 hektar; c) Kawasan peruntukan perikanan 21.678,358 hektar; d) Kawasan peruntukan pertambangan 817.249 hektar; e) Kawasan peruntukan industri 12.448,026 hektar; f) Kawasan peruntukan pariwisata 82.851 hektar; g) Kawasan peruntukan

permukiman 26.097,091 hektar; h) Kawasan andalan 8.555 hektar; dan i) Kawasan peruntukan lainnya 6.644,010 hektar.

Studi yang digunakan berdasarkan keilmuan geodesi atau geomatika untuk mengkaji adanya pergerakan tanah di kota Gresik antara lain survei sipat datar atau *levelling* (Awaluddin dkk. 2013)), survei GPS (*Global Positioning System*) (Gumilar dkk. 2012) dan menggunakan teknologi penginderaan jauh yakni dengan teknologi *lidar* dan teknologi *radar* (Febriyanti dan Anjasmara 2017). Penggunaan teknologi penginderaan jauh berupa radar sangat tepat dan menguntungkan pada penelitian yang memerlukan waktu yang relatif singkat dan cakupan area yang luas. Namun teknologi radar masih memiliki beberapa kekurangan yaitu berkaitan dengan efek bias temporal dan bias spasial yang terjadi selama proses akuisisi data (Prasetyo dan Subiyanto 2014). Salah satu metode terbaru yang dapat digunakan untuk pemantauan penurunan permukaan tanah adalah metode (PS-InSAR) *Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar*. PS-InSAR yang merupakan pengembangan dari teknik (DInSAR) *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar* yang mengeksplorasi informasi pada fase pada kumpulan gambar SAR yang diperoleh pada daerah yang sama dan waktu yang berbeda, untuk memperoleh pengukuran dan pemantauan deformasi pada suatu daerah (Hanssen 2001). Pemilihan metode PS-InSAR merupakan metode terbaru pengolahan citra radar yang memberikan akurasi yang baik dan meminimalkan efek dekorelasi temporal.

Metode PS-InSAR dapat digunakan untuk mengukur pergerakan kecil pada suatu wilayah dari waktu ke waktu dengan akurasi DEM mencapai milimeter. Meskipun metode ekstraterestris memiliki ketelitian yang masih di bawah metode terestris, namun metode PS-InSAR mampu melakukan pengamatan dan penilaian pada daerah yang luas dengan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan metode terestris. Dengan demikian PS-InSAR dapat diterapkan di berbagai bidang, baik untuk penelitian ilmiah, penilaian resiko, serta pemantauan,

terutama untuk aplikasi pemantauan *land subsidence* (Iodice dkk., 2009) yang terjadi di kota Gresik. Penerapan metode PS-InSAR untuk penentuan nilai penurunan muka tanah (*uplift* dan *subsidence*) di kota Gresik dilakukan dengan rentang waktu Mei 2015 hingga Januari 2017.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan identifikasi masalah dan latar belakang penelitian ini, maka dapat dirumuskan beberapa masalah, yaitu :

- a. Parameter-parameter apa sajakah yang digunakan dalam pemetaan daerah yang mengalami penurunan tanah ?
- b. Bagaimana nilai dan pola penurunan permukaan tanah kota Gresik dengan menggunakan teknik PS-InSAR ?
- c. Bagaimana korelasi antara penurunan muka tanah Kota Gresik terhadap fenomena sedimentasi dan struktur geologi?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian mengambil studi kasus di Kabupaten Gresik, Jawa Timur.
- b. Pemetaan yang menjadi objek penelitian adalah penurunan muka tanah akibat pembangunan kota dan proses sedimentasi kota Gresik.
- c. Data yang digunakan adalah citra satelit Sentinel 1-A pada Mei 2015 hingga Januari 2017 sebanyak 23 *image* citra Sentinel 1-A.
- d. Metode yang digunakan yaitu PS-InSAR dengan menggunakan algoritma StaMPS.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pengolahan Data ini digunakan untuk mengetahui laju kenaikan atau penurunan tanah Kota Gresik tahun 2015 hingga 2017.
- b. Pengolahan Data ini digunakan untuk melihat pola sebaran dan besaran penurunan muka tanah yang terjadi di kota Gresik.
- c. Evaluasi hasil pengolahan data untuk mengetahui terjadinya kenaikan dan penurunan muka tanah yang ada di kota Gresik.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Memperoleh variasi metode yang digunakan dalam mengamati dan menilai penurunan muka tanah Kota Gresik menggunakan metode PS-InSAR.
- b. Produk dari pengolahan ini dapat digunakan sebagai data pembanding untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penginderaan Jauh

Teknologi penginderaan jauh digunakan dalam menyediakan data dan informasi mengenai daerah yang rawan bencana alam tersebut. Dalam kajian bencana alam, data penginderaan jauh juga dapat digunakan untuk *monitoring* bencana alam, sebelum terjadi bencana dan sesudah terjadi bencana, misalnya untuk mengetahui kerusakan dan mengestimasi kerugian akibat bencana tersebut. Misalnya penggunaan citra Sentinel untuk mengetahui laju penurunan muka tanah yang ada di Indonesia, khususnya di Kabupaten Gresik.

Berdasarkan jenisnya, penginderaan jauh dibagi menjadi 2 sistem, yaitu penginderaan jauh sistem pasif dan penginderaan jauh sistem aktif. Penginderaan jauh sistem aktif merupakan penginderaan jauh dimana sensor memancarkan sumber radiasi elektromagnetik sendiri untuk menerangi objek. Oleh karena itu dalam aplikasinya, penginderaan jauh aktif tidak memerlukan sumber cahaya bantuan sehingga pengambilan data oleh satelit dapat dilakukan baik siang maupun malam hari.

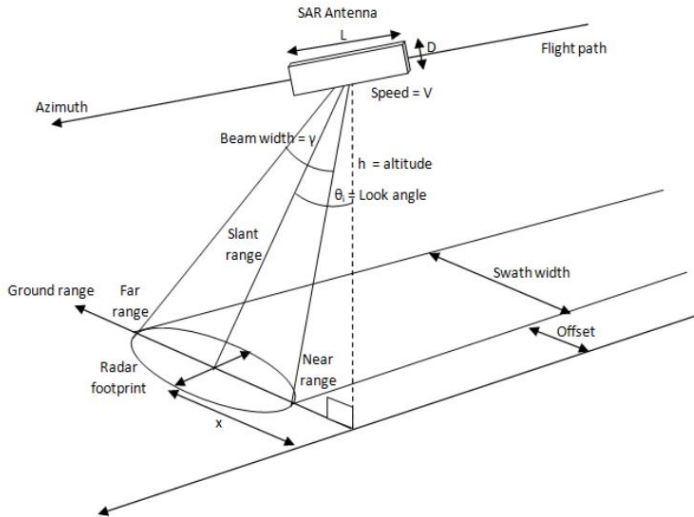
Satelit sentinel adalah salah satu contoh satelit yang menggunakan sistem penginderaan jauh aktif. Penginderaan jauh memiliki kelebihan yaitu visibilitas yang luas dan waktu yang relatif lebih cepat dibandingkan teknik pengukuran lain untuk meneliti penurunan muka tanah.

2.2 RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

Secara umum, radar adalah suatu sistem elektromagnetik untuk mendeteksi dan mengetahui lokasi suatu objek dengan cara mentransmisikan jenis gelombang tertentu, misalnya gelombang sinus termodulasi dan mendeteksi sifat sinyal gema (Skolnik 1981).

Gelombang elektromagnetik yang bekerja pada radar berupa gelombang radio dan gelombang mikro, dengan variasi panjang gelombang yang berkisar antara satuan milimeter hingga satu

meter. Gelombang radio dan gelombang mikro tersebut dipancarkan ke seluruh permukaan bumi dan pantulannya terdeteksi oleh sistem radar yang selanjutnya digunakan untuk mendeteksi objek.



Gambar 2. 1 Geometri Pencitraan RADAR

Pada sistem radar, geometri pencitraan dilakukan ke arah samping relatif terhadap arah terbang seperti pada gambar 2.1 yang dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini :

- Incidence angle* (φ) yaitu sudut yang terbentuk antara arah pancaran gelombang radar dengan arah vertikal terhadap permukaan objek.
- Depression angle* (θ) yaitu sudut yang dibentuk dari arah horizontal (sejajar arah *range*) ke garis pancaran gelombang radar.
- Look direction* yaitu arah antenna pada saat melakukan pencitraan.

- d. *Look Angle* yaitu sudut antara utara geografis dan arah pancaran gelombang radar atau dengan garis yang tegak lurus arah terbang wahana.
- e. *Foreshortening* (pemendekan) yaitu mengakibatkan proyeksi objek hasil pencitraan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan panjang yang sebenarnya. Distorsi ini bergantung pada look angle dari radar, semakin besar *look angle* maka efek *foreshortening* akan semakin kecil.
- f. *Shadow* yaitu tidak adanya gelombang pantul yang diterima kembali oleh radar. Ketidadaan gelombang pantul tersebut dikarenakan gelombang yang dipancarkan radar tidak mengenai permukaan akibat terhalang oleh suatu objek. *Shadow* biasanya ditandai adanya bagian yang tampak gelap pada citra.
- g. *Layover* yaitu titik atau objek yang jauh menjadi lebih dekat dengan sensor radar. *Layover* umumnya terjadi pada objek yang lebih tinggi dibandingkan objek didepannya. Hal tersebut terjadi karena gelombang yang dipantulkan oleh objek yang lebih tinggi akan diterima terlebih dahulu oleh sensor radar.

2.3 SAR (*Synthetic Aperture Radar*)

SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh dengan resolusi tinggi yang dapat bekerja pada siang maupun malam hari. Hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi. Sistem SAR lahir untuk mengatasi kelemahan dari sistem RAR (*Real Aperture Radar*). SAR menggunakan prinsip Doppler pada perambatan gelombang radio dengan frekuensi tertentu. Prinsip Doppler ini mengacu pada perubahan frekuensi atau panjang gelombang yang dihasilkan dari pergerakan relatif antara sensor dan target.

Resolusi SAR dibagi menjadi dua hal (Haniah dan Prasetyo, 2011), yaitu sebagai berikut:

a. *Range Resolution* (Resolusi Melintang Lintasan)

Resolusi dari pulsa radar adalah secara mendatar dibatasi oleh *bandwidth* (B) dari pancaran pulsa gelombang (c), dengan semakin lebar *bandwidth* maka resolusi range semakin baik, lebar *bandwidth* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek.

b. *Azimuth Resolution*. (Resolusi Searah Lintasan)

Resolusi pada arah azimuth (α) merupakan resolusi yang sejajar dengan arah terbang wahana. Dalam hal ini kemampuan dari radar untuk membedakan antara objek yang dan yang searah lintasan wahana. Resolusi searah azimuth tergantung pada lebar sorot (β) dari gelombang mikro yang dipancarkan dan jarak dari wahana ke objek.

Pada sistem SAR, gelombang tidak akan terdeteksi secara bersamaan. Antena kecil pada wahana akan bergerak di sepanjang lintasan, sinyal yang diterima di setiap posisi direkam dan dikombinasikan dengan sistem pengolahan data. Dengan menggunakan Prinsip Doppler, hasil citra untuk setiap obyek akan berbeda tanpa memiliki antena yang panjang karena pada saat wahana bergerak melewati obyek, frekuensi yang dihasilkan akan berbeda-beda dengan selang waktu tertentu dan hasil yang penting adalah resolusi searah lintasan pada sistem SAR tidak tergantung pada jarak antena ke permukaan dan dengan antenna yang lebih kecil akan memberikan resolusi yang lebih baik.

Berikut yang kemudian dinamakan “Perubahan Frekuensi Doppler” (*The Doppler Frequency Shift*).

$$f_d = \frac{2v_r}{\lambda} = \frac{2v_r f_o}{c} \quad (2.1)$$

dengan :

- f_d = Perubahan Frekuensi Doppler (GHz)
- v_r = Kecepatan target bergerak relatif terhadap sensor (m/s)
- c = Cepat rambat cahaya (3×10^8 m/s)
- f_o = Frekuensi Transmisi (GHz)
- λ = Panjang gelombang (m)

2.4 InSAR (*Interferometry Synthetic Aperture Radar*)

InSAR adalah salah satu teknik dalam keilmuan geodesi yang dimungkinkan untuk menghitung besaran perubahan topografi (Feigl 1998). InSAR merupakan metode penginderaan jauh yang menggunakan kombinasi nilai per piksel dari dua data radar. Teknologi InSAR secara bertahap mengalami perkembangan dan pembaruan untuk mendukung adanya penelitian lebih lanjut tentang radar serta perbaikan beberapa algoritma sehingga lahirnya teknologi PS-InSAR.

Citra intensitas SAR identik dengan citra foto yang merupakan proyeksi dari permukaan bumi tiga dimensi pada bidang datar atau permukaan dua dimensi. Hal ini menyebabkan hilangnya informasi tinggi. Dua titik yang berbeda pada posisi melintang dan searah lintasan yang sama akan terlihat dalam piksel yang sama pada citra dan karena itu tinggi kedua titik tersebut tidak akan dapat dibedakan. Informasi tinggi pada citra tiga dimensi didapatkan dengan memperhitungkan informasi fasa pada teknik SAR. Pengolahan interferometri ini merubah semua data fasa menjadi tinggi, sehingga didapatkan informasi tiga dimensi untuk permukaan yang dicitrakan.

Selanjutnya dengan teknik InSAR, data yang diolah untuk mendapatkan perbedaan Φ_M dan Φ_S disebut $\Delta\Phi_{Int}$. Diasumsikan bahwa jika nilai $D(t)$ nol, maka permukaan tanah stabil dan nilai P sama dengan P' , fase ini berhubungan dengan perbedaan jarak SP-MP, yang merupakan kunci dari turunan DEM InSAR. Ketika suatu titik berpindah dari P ke P' ; antara dua akuisisi citra, selain komponen fase topografi Φ_{Topo} , $\Delta\Phi_{Int}$ juga mempengaruhi pergeseran suatu titik di permukaan bumi, Φ_{Mov} .

$$\begin{aligned}\Delta\Phi_{Int} &= \Phi_S - \Phi_M = \frac{SP - MP}{\frac{\lambda}{4\pi}} + \frac{SP^{-1} - SP}{\frac{\lambda}{4\pi}} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Noise} \\ &= \Phi_{Topo} + \Phi_{Mov} + \Phi_{Atm} + \Phi_{Noise} \quad (2.2)\end{aligned}$$

dimana:

Φ_{Atm} = efek atmosfer

Φ_{Noise} = noise akibat fase

SP^{-1} = jarak antara citra *Slave* ke P^1
 λ = panjang gelombang radar

2.5 PS-InSAR (*Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar*)

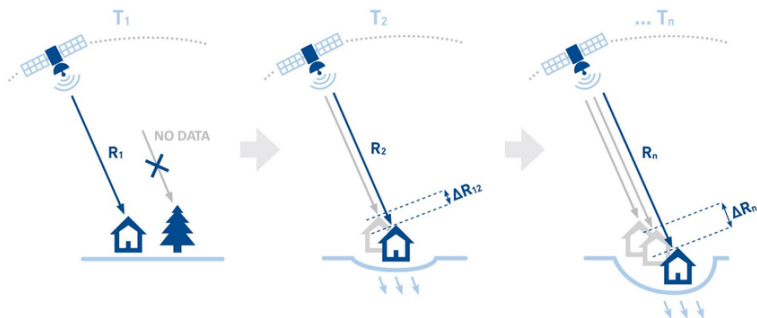
Permanent Scatterer Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) adalah teknik geodesi mutakhir yang dapat digunakan untuk membuat kumpulan data spasial yang terperinci dari tingkat deformasi permukaan pada cakupan area ($\sim 100 \times 100$ km) (Ferretti dkk. 2003). Teknik ini berbeda dengan teknik InSAR konvensional karena menggunakan informasi dari sifat tanah biasanya, bangunan atau struktur buatan manusia lainnya, namun juga sifat alami seperti singkapan batu yang dapat bertindak sebagai reflektor permanen radiasi radar. Ini dapat diidentifikasi bahkan ketika dikelilingi oleh vegetasi, memungkinkan peningkatan yang substansial dalam cakupan di area yang kurang sesuai dengan metode InSAR konvensional.

Prinsip utama dari teknik PS-InSAR memanfaatkan data pengamatan citra SAR *multitemporal* dalam rentang waktu panjang untuk mendeteksi titik-titik potensial koherensi. Titik-titik PS (*Permanent Scatterer*) pada umumnya berupa objek-objek *solid* di permukaan bumi (Gambar 2.1) yang menjadi pemantul alami yang relatif koheren terhadap dimensi waktu. Sebaran titik-titik PS dan perbedaan nilai fase untuk setiap individu titik yang dianalisis lebih lanjut menggunakan metode PS-InSAR (Prasetyo dan Subiyanto 2014).

Manfaat lebih lanjut dari teknik PS-InSAR adalah kemampuan untuk mengurangi sumber *noise* menggunakan *spatial* dan *temporal filtering*. Dengan membuat asumsi tertentu, deformasi permukaan berkorelasi dalam waktu tetapi tidak di ruang angkasa dan bahwa sinyal atmosfer berkorelasi selama panjang gelombang spasial kecil (< 20 km) namun tidak pada waktunya adalah mungkin untuk menguraikan sinyal radar menjadi deformasi dan komponen atmosfer dan dengan demikian menghilangkan sumber utama

ketidakpastian dalam pengukuran. PS-InSAR memiliki tingkat ketelitian pengukuran hingga satuan millimeter per tahunnya serta mampu untuk memonitor pergerakan secara kontinyu.

Meskipun metode ekstraterestris khususnya PS-InSAR ini memiliki ketelitian yang masih di bawah metode terestris, namun metode ini mampu melakukan pengamatan dan penilaian pada daerah yang luas dengan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan metode terestris.



Gambar 2. 2 Teknologi Permanent Scatterer InSAR
(sumber: TRE 2018)

Berdasarkan Gambar 2.3 , persamaan penentuan beda tinggi di dalam teknik pengolahan PS-InSAR berdasarkan model matematika (Sudiana dkk. 2014), sebagai berikut:

$$dz_{i,j} = \frac{1}{\cos \theta'} \left\{ \frac{z' B \perp}{r_m \sin \alpha} + \frac{\lambda \phi}{4\pi} - B_d \right\};$$

$$dz_{i,j} = \begin{cases} \text{tanda}(dz_{i,j}) = +(\text{Kenaikan Muka Tanah}) \\ \text{tanda}(dz_{i,j}) = -(\text{Penurunan Muka Tanah}) \end{cases} \dots (2.3)$$

Masing-masing besaran dalam persamaan (2.3) sebagai berikut:

$dz_{i,j}$ = nilai deformasi pada dua *epoch* pengamatan i dan j.

θ' = sudut masuk (*incident angle*)

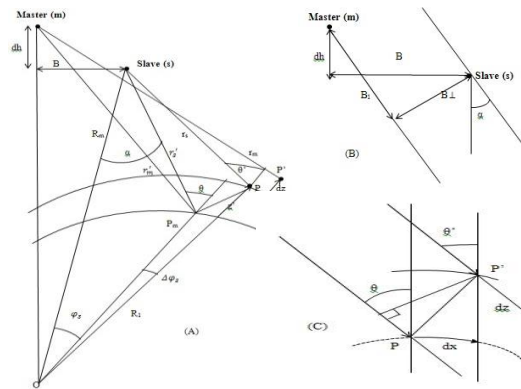
r_m = jarak (*range*)

\emptyset = sudut masuk pada citra pertama dan kedua

α = panjang gelombang mikro yang digunakan

B_d = jarak utama (*baseline*) mendatar

B_{\perp} = jarak utama (*baseline*) tegak lurus



Gambar 2. 3 Geometri Metode PS-InSAR Per Titik
(sumber : Sumantyo dkk. 2009)

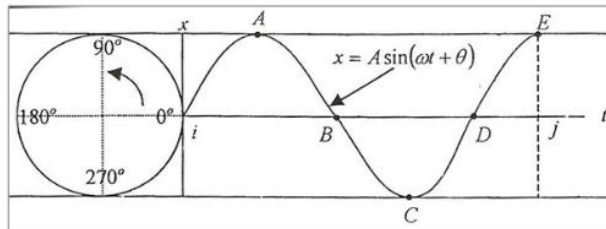
Algoritma piksel PS diidentifikasi sebagai piksel-piksel yang pada fase-fase sebelumnya sesuai dengan asumsi model bagaimana variasi waktu *displacement*. Metode-metode ini sangat berhasil untuk analisis InSAR dari *scene* radar yang memuat struktur buatan manusia dengan skala besar, yang cenderung kaku dan kerap menghasilkan proyeksi dengan efisien tinggi yang mendominasi penghamburan latar belakang.

Karena metode ini menggunakan model fungsional *temporal displacement* untuk mengidentifikasi piksel PS, perkiraan pengetahuan tentang bagaimana variasi waktu deformasi diperlukan *a priori*. Umumnya, deformasi diasumsikan bersifat stabil atau periodik. Namun, dalam studi deformasi, sifat temporal

deformasi biasanya merupakan salah satu fenomena yang ingin ditentukan.

2.5.1 Fasa (Phase)

Interferometri pada dasarnya adalah pengukuran fasa dari sinyal radar. Fasa merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang setiap 2π (Ismullah 2004).



Gambar 2. 4 Fase pada sebuah gelombang

Sebuah gelombang yang menjalar dari titik I ke J seperti tampak pada gambar 2.4

Pada Gambar 2.4, gelombang tersebut memenuhi persamaan berikut:

$$x = A \cdot \sin(\omega t + \theta) \dots\dots\dots (2.4)$$

Masing-masing besaran dalam persamaan (2.4) sebagai berikut:

- A : amplitudo (harga x maksimum)
 - ω : kecepatan sudut gelombang
 - θ : fasa awal, (pada gambar fasa awal = 0)
 - t : waktu
- Fasa = $(\omega t + \theta)$.

Perjalanan dari titik i menuju titik D dapat disebut dengan satu gelombang penuh. Dengan proyeksi gelombang pada lingkaran sebelah kiri, maka didapatkan bahwa pada titik A, fasa yang terukur adalah 90° atau $\frac{1}{2}\pi$ rad, pada titik B bernilai 180° atau π , pada titik C bernilai 270° atau $1\frac{1}{2}\pi$, pada titik D bernilai 360° atau 2π dan pada titik E memiliki fasa sebesar $360^\circ + 90^\circ$ atau sebesar $2\frac{1}{2}\pi$ rad.

Citra beda fasa yang dihasilkan pada InSAR ini dimanakan interferogram. Interferogram mempunyai suatu pola *fringes* yang merepresentasikan perbedaan jarak yang dicocokkan melalui siklus fasa (Usai 2015). Selama panjang gelombang yang digunakan sekitar 10^{-2} m, perbedaan fasa tersebut memungkinkan proses estimasi jarak dari antenna ke obyek dengan akurasi sekitar 10^{-2} sampai 10^{-3} m.

2.5.2 Koregistrasi Citra

Pencocokan dua citra atau yang disebut koregistrasi, citra kedua (*slave image*) diproses hingga menemukan kecocokan dengan citra utama (*master image*). Pada proses ini dilakukan dua tahap pengolahan, yaitu koregistrasi kasar dan koregistrasi halus. Koregistrasi kasar merupakan tahap penentuan posisi setiap piksel di ellipsoid, sedangkan koregistrasi halus adalah proses untuk memperhalus kecocokkan antara dua citra menuju piksel yang lebih halus. Akurasi dari 1/8 piksel merupakan batas yang sudah dipertimbangkan untuk koregistrasi yang baik. Koregistrasi halus dapat diselesaikan dengan metode yang berbeda, baik pada domain frekuensi ataupun domain ruang.

Pada dasarnya metode-metode ini membandingkan area yang kira-kira cocok pada kedua citra dan memecahkan beberapa set parameter transformasi. Saat proses koregistrasi citra kompleks, posisi dari setiap piksel di citra kedua dicocokkan terhadap citra utama. Setelah itu menghitung amplitude dan fasa dari setiap *fasor* (vektor pada SAR).

Pada koregistrasi citra, parameter registrasi yang paling penting adalah translasi (*shifted*), skala (*scale*), rotasi (*rotated*), kemiringan (*skew*), dan non linear. Parameter-parameter registrasi ini umumnya linear terhadap koordinat.

2.5.3 Koherensi Citra

Koherensi (korelasi) dalam suatu pengolahan citra juga harus diperhitungkan. Nilai minimum koherensi yang direkomendasikan oleh ESA (*European Space Agency*) adalah 0,6 dari skala 1 untuk pembentukan DEM (*Digital Elevation Model*) pada wahana satelit.

Pengolahan dengan PS-InSAR memiliki kelebihan daripada metode DInSAR diantaranya adalah dapat mereduksi efek dekorelasi. Efek tersebut disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya :

- a. Dekorelasi oleh gangguan panas (*Thermal Noise*)
Efek ini terjadi saat proses penguatan yang diterima oleh antena dari sinyal radar.
- b. Dekorelasi *Baseline*
Jika *baseline* terlalu panjang, penjumlahan koherensi radiasi dari gelombang pantul akan sangat berbeda. Dekorelasi tergantung pada panjang *baseline*. Pada citra, dekorelasi ini akan menimbulkan *speckle* (bintik hitam).
- c. Dekorelasi Temporal
Dekorelasi temporal dapat disebabkan oleh perubahan kecil posisi obyek selama dua pass pengamatan. Dekorelasi temporal sangat bergantung dari sifat pantul obyek

2.6 Sentinel-1

Sentinel-1 merupakan seri satelit pertama bagian dari program Copernicus dari tujuh misi satelit yang diluncurkan. Copernicus adalah program lanjutan dari GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*), yakni program observasi bumi yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA). Program observasi ini memiliki tujuan menyediakan informasi yang akurat, tepat waktu dan mudah diakses untuk meningkatkan pengelolaan lingkungan, memahami

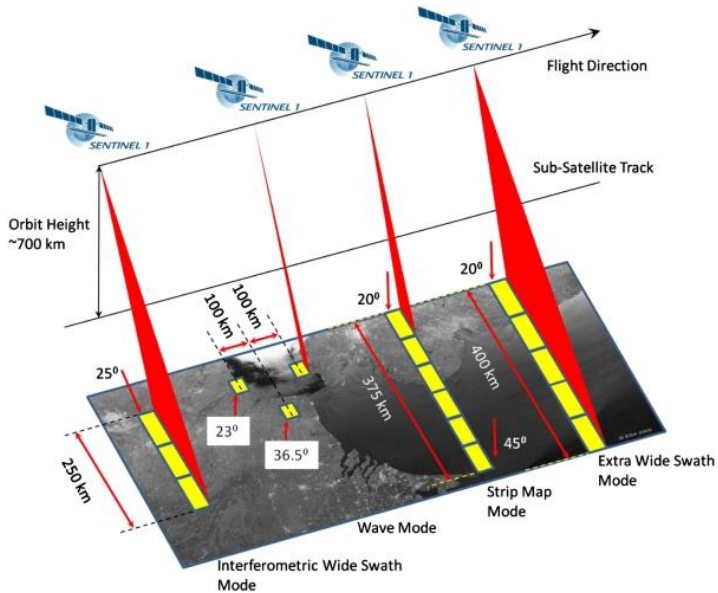
dan mengurangi dampak perubahan iklim dan menjamin keamanan sipil (ESA 2016).

Tabel 2.1 Spesifikasi citra Sentinel 1

<i>Sentinel-1A</i>	
<i>Lifetime</i>	7 years (consumables for 12 years)
<i>Orbit</i>	Near-polar Sun-synchronous orbit at 693 km altitude; 12-day repeat cycle; 175 orbits per cycle
<i>Mean local solar time</i>	18:00 at ascending node
<i>Orbital Period</i>	98.6 min
<i>Maximum eclipse duration</i>	19 min
<i>Attitude stabilisation</i>	3-axis stabilised
<i>Attitude accuracy</i>	0.01° (each axis)
<i>Instrument</i>	Right looking with respect to the flight direction
<i>Steering</i>	Zero Doppler yaw steering and roll steering (-0.8° to +0.8°)
<i>Attitude profile</i>	Geocentric and geodetic
<i>Orbit knowledge</i>	10m (each axis, 3 σ) using GPS
<i>Operative autonomy</i>	96 h
<i>Launch mass</i>	2300 kg (including 130 kg mono-propellant fuel)
<i>Dimension (stowed)</i>	3900 x 2600 x 2500 mm
<i>Solar array average power</i>	5900 W (end-of-life)
<i>Battery capacity</i>	324 Ah
<i>Satellite availability</i>	0.988
<i>S-band TT&C data rates</i>	64 kbit/s telecommand; 128 kbit/s – 2 Mbit/s telemetry (programmable)
<i>X-Band downlink data rate</i>	2 x 260 Mbit/s
<i>Launcher</i>	Soyuz from kourou

(sumber : ESA 2016)

Sentinel-1 memiliki beberapa standar mode operasional yang dibagi menjadi 4 mode (gambar 2.3) yang didesain untuk interoperabilitas dengan sistem lainnya.



Gambar 2. 5 *Sentinel-1 Product Modes* (sumber: ESA 2016)

Beberapa mode tersebut diantaranya :

- Mode *Strip Map*, swat 80 km dan resolusi spasial 5x5 m;
- *Interferometric Wide Swath Mode*, 250 km *swath*, 5 x 20 m *spatial resolution* dan sinkronisasi *interferometry*.
- Extra-wide Swath Mode, 400 km *swath* and 25 x 100 m *spatial resolution* (3-looks).
- *Wave Mode*, low data rate dan 5 x 20 m *spatial resolution* pada 20 x 20 km interval 100 km sepanjang orbit.

Untuk *wave mode*, Sentinel-1 memiliki *single polarisation* (VV / HH) dan untuk mode lainnya memiliki *dual polarisation* (VV+VH atau HH+HV). Pada mode utama, Sentinel-1 didesain untuk aplikasi pada resolusi medium (5x20 m) *wide swath* (250km). Dua satelit Sentinel-1 akan secara berkala mengitari seluruh wilayah setiap 3 hari pada *equator* dan lintang.

Memiliki *Interferometric Wide Swath Mode* sebagai satu mode operasional utama memenuhi persyaratan layanan yang paling dikenal saat ini, menghindari konflik dan mempertahankan kembali kinerja, menyederhanakan perencanaan misi, mengurangi biaya operasional dan membangun arsip jangka panjang yang konsisten (ESA 2016).

Resolusi yang terdapat pada Citra pada Sentinel-1 bergantung pada jenis mode pengamatan data. Misalnya pada mode IW, resolusi yang didapat sekitar 5x20 m dengan *pixel spacing* maksimal sekitar 17,4 m. Ketelitian untuk akurasi dari pengamatan dengan Citra Sentinel-1 dan tingkat resolusi mode pengamatan lainnya dalam produk SLC (*Single Look Complex*) seperti yang dijelaskan pada tabel (2.2) berikut :

Tabel 2. 2 Resolusi Pada Akuisisi SLC Level 1

Mode	Resolution rg x az	Pixel spacing rg x az	Number of looks
SM	1.7x4.3 m - 3.6x4.9 m	1.5x3.6 m to 3.1x4.1 m	1x1
IW	2.7x22 m to 3.5x22 m	2.3x17.4 m	1x1
EW	7.9x43 m to 15x43 m	5.9x34.7 m	1x1
WV	2.0x4.8 m and 3.1x4.8 m	1.7x4.1 m and 2.7x4.1 m	1x1

2.7 Penurunan muka tanah

Pemanfaatan data *remote sensing* sudah banyak dilakukan di Indonesia dengan memanfaatkan teknik interferometri *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Fenomena penurunan muka tanah sering terjadi di kota-kota besar di Indonesia, seperti Bandung, Malang (Sudiana dkk. 2014), Semarang (Gumilar dkk., 2013); dan Surabaya (Aditiya dkk. 2017) dengan karakter tanah seperti

Aluvial (endapan lepas yang tertransportasi ke tempat lain atau tidak berada di sekitar batuan induk yang berukuran butiran berupa pasir dan lempung), Grumusol, Mediteran Merah (hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen) dan Litosol (tanah yang teksturnya banyak mengandung pasir kasar dan kerikil yang belum melapuk).

Arah pembangunan pada daerah perkotaan yang menuju pada pembangunan Industri secara perlahan mempengaruhi penurunan muka tanah. Karakteristik jenis tanah Aluvial merupakan tanah endapan yang mengandung pasir dan tanah liat sehingga apabila diberikan beban yang lebih secara tidak langsung akan berdampak pada turunnya muka tanah. Kondisi ini diperparah dengan adanya fenomena kenaikan muka laut yang terjadi akibat efek pemanasan global.

Penurunan muka tanah berpotensi menimbulkan dampak kerugian seperti kerusakan pada bangunan serta infrastruktur (Gambar 2.6) dan kondisi alam. Dampak yang dapat dirasakan antara lain amblesnya jalan aspal, retaknya dinding bangunan, makin tingginya genangan banjir yang terjadi pada beberapa Kecamatan di Kabupaten Gresik, diantaranya Kecamatan Bejeng, Balong-panggang, Driyorejo, Wringinanom, Cerme, Menganti, Dukun, Bungah dan Kebomas.



Gambar 2. 6 Retakan dan amblesan yang terjadi di jalan Daendels, Gresik.

Selain itu, terdapat pula area-area pertambangan batu kapur, mineral diantaranya di Kecamatan Bungah. Bukan daerah bawah tanah akibat bekas tambang merupakan salah satu bentuk



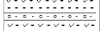
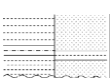

pengambilan bahan padat dari tanah sehingga mengurangi ketahanan tanah terhadap tegangan geser (*shear stress*).

Penurunan muka tanah akibat aktivitas tambang dan non-tambang dapat mengakibatkan turunnya permukaan tanah baik secara mendadak maupun secara perlahan dengan besar penurunan hingga mencapai satuan sentimeter per tahunnya. Penurunan muka tanah yang terjadi secara mendadak menimbulkan dampak yang dapat secara langsung dirasakan. Untuk penurunan muka tanah secara perlahan, dampak yang ditimbulkan dapat dirasakan dalam waktu yang lama.

Besar nilai penurunan muka tanah dapat dihitung secara berkala atau periodik dengan memanfaatkan teknologi radar. Perhitungan secara berkala dilakukan untuk mengetahui besar nilai rata-rata penurunan muka tanah pada daerah penelitian. Selain itu, besaran nilai tersebut dapat dijadikan sebagai prediksi akan terjadinya fenomena penurunan muka tanah yang disebabkan oleh beberapa faktor alam dan non-alam. Selanjutnya dapat dilakukan pengelolaan dampak dan mitigasi penurunan muka tanah yang terjadi di daerah penelitian.

2.8 Kondisi Geologi Kota Gresik

Tabel 2. 3 Susunan Satuan Batuan Kabupaten Gresik

Unsur		Satuan Batuan		Litho-stratigrafi	Deskripsi	
K U A R T E R	Holosen	Endapan Aluvial			Kerakal, kerikil, pasir, lumpur/lempung mengandung cangkang fosil	
	Pleistosen	Formasi Kabuh	Batuan Gunung Api Balibak		Batupasir kerikilan, kasar, konglomeratan, kemas terbuka, khusus di pesisir Gresik	Perselingan lava, breksi dan tuff, khusus di Pulau Bawean
		Formasi Pulangan			Batupasir tufan berlapis baik bersisipan konglomeratan, Pesisir Gresik	
T E R S I E R	Miosen Akhir	Formasi Lidah	Formasi Kepong an		Batulempung biru sisipan batu pasir lempungan terdapat di wilayah pesisir Gresik	Batupasir kwarsa sisipan batulempung di Pulau Bawean
	Miosen Tengah	Formasi Madura	Formasi Gelam		Batugamping terumbu di Pesisir Gresik	Batugamping terumbu dan klastik di Pulau Bawean

Berdasarkan tabel satuan batuan Kabupaten wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil di Kabupaten Gresik (Tabel 2.3), dapat diketahui bahwa susunan batuan di kawasan wilayah perencanaan, pesisir Kecamatan Ujung Pangkah termasuk jenis satuan Endapan Aluvial, Pantai dan Delta yang tersusun dari kerikil, pasir dan lumpur. Kawasan tersebut terbentuk dari endapan Aluvial yang terdiri dari material berukuran lempung dan pasir. Lapisan pembentuk tersebut berumur muda (sekitar 10.000 tahun) yang memiliki derajat kompaksi rendah.

Jika dilihat dari penampakan yang ada pada Peta Geologi Regional Surabaya, Gresik dan Sapulu (Gambar 2.3), daerah Kecamatan Gresik dan Kebomas didominasi oleh Formasi Lidah dan Formasi Kabuh yaitu berupa batu pasir dan batu lempung. Kemudian pada Kecamatan Bungah, Kecamatan Sedayu, Kecamatan Manyar, Kecamatan Ujungpangkah dan Kecamatan Cerme mayoritas didominasi oleh formasi Endapan Aluvial sehingga masih memungkinkan terjadinya pemadatan dan berpengaruh dengan penurunan muka tanah (Saputro, Kahar dan Sasmito 2011). Formasi pada Kecamatan Menganti didominasi 2 jenis tanah yaitu Batulempung dan Batupasir. Sedangkan pada Kecamatan Kebomas, terdapat 3 formasi geologi yang berbeda yaitu Batulempung, Batugamping berrongga halus dan Batupasir.

Pada identifikasi awal, tanah Aluvial yang merupakan tanah muda memiliki kecenderungan lebih besar dalam penurunan muka tanah. Daerah Kabupaten Gresik sebagian besar didominasi oleh formasi jenis tanah Aluvial. Jenis Tanah ini sebagian besar terdapat di daerah-daerah pesisir laut terutama daerah kota yang berdekatan langsung dengan Laut Jawa Bagian Utara, seperti Surabaya, Semarang, Lamongan dan Gresik.

Hampir sepertiga bagian dari wilayah Kabupaten Gresik merupakan daerah pesisir pantai, yaitu sepanjang 140 km yang meliputi Kecamatan Kebomas, Gresik, Manyar, Bungah, Sidayu, Ujungpangkah, dan Panceng serta Kecamatan Tambak dan Sangkapura yang berada di Pulau Bawean. Sebagian kawasan pantai terdapat kawasan yang terabrasi dan intrusi air laut. Abrasi

yang terjadi meliputi Kecamatan Bungah, Ujung Pangkah, Panceng, Sangkapura dan Tambak, Sedangkan Intrusi air laut terjadi di wilayah Kecamatan Gresik, Kebomas, Manyar, Bungah, Sidayu dan Ujung Pangkah. Daerah Gresik juga mengalami sedimentasi dilihat dari jenis tanah Aluvial seperti daerah pantai Dalegan, Kecamatan Ujung Pangkah yang secara bertahap memiliki kemungkinan akan terjadi endapan dan topografi dasarnya akan bertambah atau kedalaman perairan bertambah dangkal. Hal ini juga diperparah dengan adanya kawasan budidaya terbangun yang berbatasan langsung dengan garis pantai tanpa memperhatikan sempadan pantai yang seharusnya bebas dari bangunan.

Berdasarkan RTRH Gresik 08 tahun 2011, wilayah Gresik Utara dan Gresik selatan menjadi fokus pengembangan wilayah dan pembangunan menjadi kawasan agropolitan dan agroindustri dan pemukiman yang dilaksanakan hingga 2030. Pembangunan di wilayah tersebut diharapkan menghindari daripada adanya penurunan muka tanah karena beban tonase bangunan berlebih karena secara geologi, daerah Gresik merupakan daerah endapan Aluvial seperti Kota Surabaya yang terus mengalami penurunan akibat pembangunan Apartemen dan gedung-gedung yang memiliki beban berat berlebih.

2.9 Penelitian terdahulu

Penelitian dengan memanfaatkan metode PS-InSAR dalam pemantauan penurunan muka tanah di kota Gresik tidak lepas dari penelitian-penelitian sebelumnya. Pemanfaatan metode PS-InSAR diantaranya adalah Studi Penurunan Muka Tanah (*Land Subsidence*) Menggunakan Metode *Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar* (PS-InSAR) di Kawasan Kota Cimahi - Jawa Barat (Prasetyo dan Subiyanto 2014); *Analysis of Land Deformation on Slope Area using PS InSAR. (Case Study: Malang Area)* (Sudiana dkk. 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh (Prasetyo dan Subiyanto 2014) menggunakan 19 buah citra ALOS PALSAR dengan rentang

akuisi data mulai September 2007, Januari 2008, Juli 2008, Desember 2008, Januari 2009, Juli 2009, Desember 2009, November 2010, Juli 2007, September 2007, Juni 2008, Juli 2008, Juli 2009, September 2010, November 2010, Desember 2010 dan Februari 2011. Hasil daripada pengolahan data radar menggunakan metode PS-InSAR didapatkan hasil bahwa Kecamatan Cimahi Selatan memiliki tingkat penurunan muka tanah rerata lebih tinggi dibandingkan wilayah Kecamatan lainnya (Cimahi Utara dan Tengah) sebesar 22,9 mm/tahun. Untuk tingkat ketelitian dari hasil pengolahan data diperoleh bahwa nilai simpangan baku terkecil didapatkan pada kawasan Kecamatan Cimahi Tengah sebesar 10,1 mm/tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai penurunan muka tanah sebesar 12,9 mm/tahun di Kecamatan Cimahi Tengah memiliki tingkat kepercayaan yang lebih baik dibandingkan hasil pengukuran penurunan muka tanah di wilayah Kecamatan lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sudiana dkk. 2014) menggunakan 6 (enam) data ALOS / PALSAR dalam format SLC digunakan untuk menganalisis deformasi tanah di Malang dan sekitarnya. Untuk menghilangkan fase topografi, data DEM resolusi rendah dari *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) pada resolusi (90 x 90m) digunakan sebagai DEM eksternal. Data PALSAR diambil dari periode Februari 2010 sampai Februari 2011 dan diantara data tersebut, citra pada tanggal akuisisi pertama dipilih sebagai citra utama untuk menghitung interferogram temporal. Wilayah studi terbatas pada Kabupaten Klojen, Kota Malang. Lokasi geografisnya adalah 7.9537.991°LS dan 112.617°BT sampai dengan 112.639°BT. Hasil analisis adalah deformasi tanah dari Kabupaten dan disajikan sebagai *file* vektor untuk batas 107.552°BT sampai 107.732°BT, dan -6.9749°LS sampai -6.8787°LS. Deformasi ditampilkan pada peta dasar yang berasal dari *Google Mapss*. Pada penelitian tersebut telah menunjukkan bahwa teknik PS InSAR berlaku untuk pemantauan deformasi permukaan skala mm di Malang. Dengan menganalisis *dataset* citra ALOS/PALSAR yang meliputi Kota Malang, terjadi *subsidence* yang signifikan hingga -7.128 mm/tahun telah

terdeteksi antara tahun 2010-2011. Untuk menganalisis fenomena deformasi yang lebih lama, dibutuhkan data PALSAR yang lebih lama. Perkiraan deformasi yang baik adalah dengan hasil dari studi independen dan pengukuran geodetik.

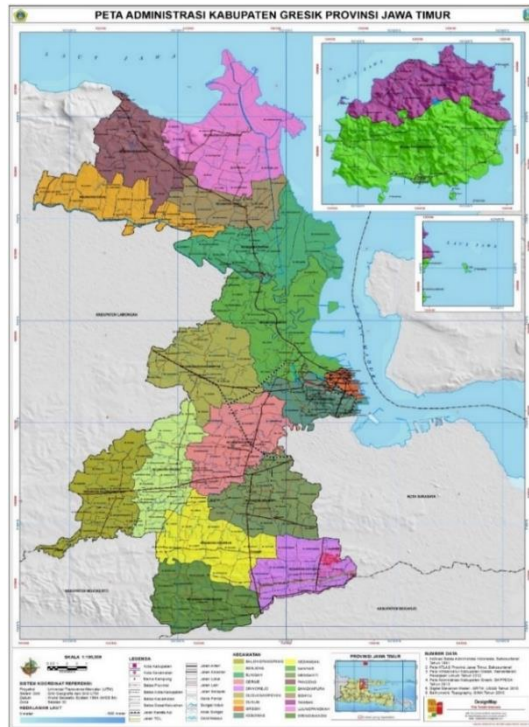
Penelitian yang dilakukan oleh (Musazzi dkk., 2007) menunjukkan bahwa deviasi standar kesalahan teknologi PS-InSAR adalah 0,75 mm pada arah vertikal dan 0,58 mm pada arah horizontal (EW) dengan syarat data tersebut diproses dengan benar dan dampak in situ serta efek atmosfer diminimalkan. Data GPS juga dikumpulkan selama percobaan ini untuk memeriksa ulang hasil SAR. Hasil kesalahan ini diketahui apabila pengolahan dilakukan dengan tepat dan sesuai dengan prosedur yang ada. Untuk melakukan percobaan validasi dengan akurasi submillimeter, digunakan reflektor *dihedral*. Sebenarnya, baik bobot dan dimensi dari kerusakan perangkat ini tidak sesuai dengan persyaratan desain praktis yang praktis untuk menjamin stabilitas mekanis yang tinggi dan sistem penentuan posisi yang akurat (misalnya data *ground-truth* harus dikumpulkan dengan akurasi submillimeter juga). Bahkan jika penggunaan reflektor *dihedral* membuat percobaan lebih menantang dari sudut pandang teknis, hasil akhir menunjukkan ketepatan yang belum pernah terjadi sebelumnya. Ke depan, kombinasi teknologi GPS dan InSAR akan memberikan kombinasi yang menjanjikan dan ampuh untuk analisis deformasi tanah. Data GPS dapat memberikan kalibrasi mutlak untuk data PS, resolusi temporal yang tinggi untuk mendeteksi perubahan signifikan, akurasi kecepatan tinggi dalam tiga dimensi, dan kalibrasi pengukuran SAR untuk menghilangkan komponen frekuensi rendah karena efek ionosfer dan fraksi orbital. PS interferometri memberikan cakupan spasial yang luar biasa dibandingkan dengan GPS, dan sensor SAR baru akan meningkat secara signifikan jumlah citra SAR yang dikumpulkan di wilayah tertentu. Area di wilayah ini sangat dapat diterima untuk analisis PS-InSAR.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian ini mengambil studi kasus wilayah di Kabupaten Gresik (Gambar 3.1). Secara Geografis, wilayah Kabupaten Gresik memiliki luas sebesar 1.191,25 km² dan terletak pada koordinat 112°21'57.4"- 112°40'38.8" Bujur Timur dan 6°50'29.2" - 7°24'30.2" Lintang Selatan dengan batas wilayah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Peta Administrasi Kabupaten Gresik
(sumber: *Batymetric Topography*, GINA 2013)

- Utara : Laut Jawa
- Selatan : Kabupaten Sidoarjo, Kabupaten Mojokerto, Kota Surabaya
- Timur : Selat Madura
- Barat : Kabupaten Lamongan

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dengan rincian data yang digunakan sebagai berikut :

- a. Citra satelit Sentinel-1A (level 1.0) *Single Look Complex* (SLC) dengan *single polarisation* (VV), *C-Band*, *Ascending mode*. Citra berada pada *Path 54* dan *Frame 1157*. Akuisisi citra dilakukan pada rentang waktu Mei 2015 hingga Januari 2017 melalui NASA *Earthdata* yang dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Informasi Data Sentinel 1-A

No	ID Scene	Tanggal	Level	Arah
1	S1A_IW_SLC__1 SSV_20150501T 104948_2015050 1T105007_00572 6_00759F_9138	1 Mei 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
2	S1A_IW_SLC__1 SSV_20150525T 104950_2015052 5T105009_00607 6_007DDA_CF33	25 Mei 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
3	S1A_IW_SLC__1 SSV_20150618T 104951_2015061 8T105010_00642 6_0087E4_DAC5	18 Juni 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>

No	ID Scene	Tanggal	Level	Arah
4	S1A_IW_SLC__1 SSV_20150712T 104951_2015071 2T105010_00677 6_00919E_D498	12 Juli 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
5	S1A_IW_SLC__1 SSV_20150829T 104954_2015082 9T105013_00747 6_00A503_D7B4	29 Agustus 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
6	S1A_IW_SLC__1 SSV_20150922T 104955_2015092 2T105014_00782 6_00AE6A_4F0D	22 September 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
7	S1A_IW_SLC__1 SSV_20151016T 104955_2015101 6T105014_00817 6_00B7D7_A875	16 Oktober 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
8	S1A_IW_SLC__1 SSV_20151109T 104955_2015110 9T105014_00852 6_00C12B_9F9F	9 November 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
9	S1A_IW_SLC__1 SSV_20151203T 104949_2015120 3T105008_00887 6_00CB0D_6385	3 Desember 2015	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
10	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160120T 104947_2016012 0T105006_00957 6_00DEE0_4B7B	20 Januari 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>

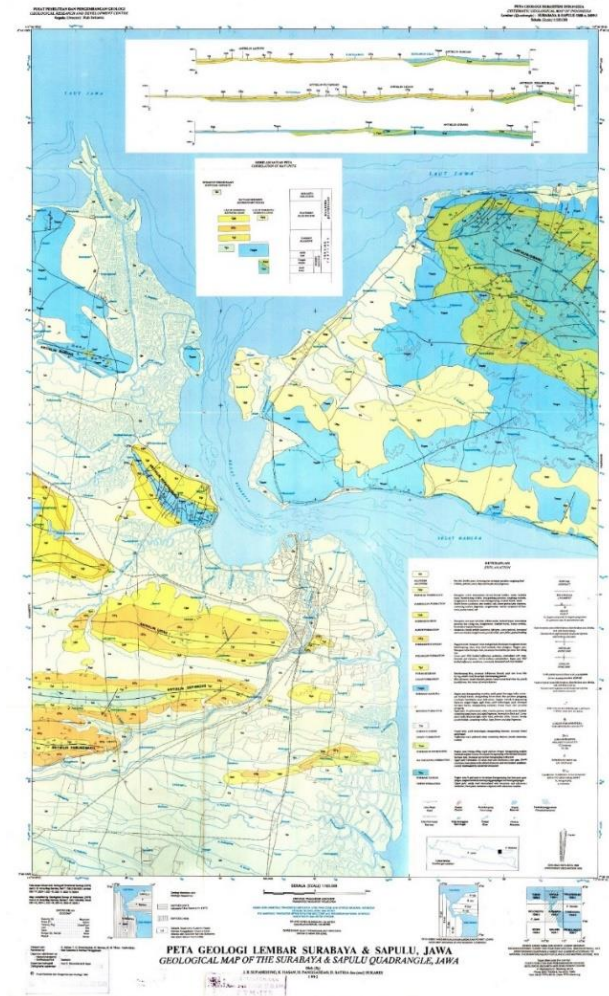
No	ID Scene	Tanggal	Level	Arah
11	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160213T 104947_2016021 3T105005_00992 6_00E916_5405	13 Februari 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
12	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160308T 104947_2016030 8T105006_01027 6_00F325_33D1	8 Maret 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
13	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160401T 104947_2016040 1T105006_01062 6_00FD1E_18AC	1 April 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
14	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160425T 104948_2016042 5T105007_01097 6_0107BF_9B52	25 April 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
15	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160519T 104952_2016051 9T105011_01132 6_0112EA_8CA4	19 Mei 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
16	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160612T 104954_2016061 2T105013_01167 6_011E1B_B2BE	12 Juni 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
17	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160706T 104955_2016070 6T105014_01202 6_012940_CDD3	6 Juli 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>

No	ID Scene	Tanggal	Level	Arah
18	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160823T 104958_2016082 3T105017_01272 6_014057_4BCD	23 Agustus 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
19	S1A_IW_SLC__1 SSV_20160916T 104959_2016091 6T105017_01307 6_014BD8_BAB B	16 September 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
20	S1A_IW_SLC__1 SSV_20161010T 104959_2016101 0T105018_01342 6_01571D_1CB1	10 Oktober 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
21	S1A_IW_SLC__1 SSV_20161127T 104959_2016112 7T105017_01412 6_016CE0_10FD	27 November 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
22	S1A_IW_SLC__1 SSV_20161221T 104958_2016122 1T105017_01447 6_0177E3_C685	21 Desember 2016	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>
23	S1A_IW_SLC__1 SSV_20170114T 104956_2017011 4T105015_01482 6_01829B_C6E7	14 Januari 2017	1.0 (<i>Single Look Complex</i>)	<i>Ascending</i>

b. DEM (SRTM) *Shuttle Radar Topography Mission* 30 meter.

c. Data Orbit Satelit rentang waktu Januari 2015 hingga Januari 2017.

- d. Peta Administrasi wilayah Kabupaten Gresik.
- e. Peta Geologi wilayah Kabupaten Gresik.



Gambar 3. 2 Peta Geologi kabupaten Gresik dan sekitarnya. (sumber : Sukardi 1992)

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

a. *Hardware*

- *Personal Computer (PC)/Laptop.*

Laptop yang digunakan adalah ASUS GL503VD dengan Prosesor Intel® Core i7-7700HQ CPU @2.8 GHz (4 *Core*, 8 *Thread*), RAM 8 Gb.

b. *Software*

- Sistem Operasi Windows 10 x64.

- Sistem Operasi Ubuntu 16.04 LTS.

- SNAP (*Sentinel Application Platform*) versi 6.0.2.

Aplikasi *opensource* berbasis Windows yang disediakan oleh ESA untuk pengolahan Citra Sentinel dengan versi 6.0.2 yang merupakan versi terbaru untuk saat ini.

- *MatLab* 2017b.

Matlab digunakan untuk menjalankan algoritma StaMPS (*Stanford Method for Persistent Scatterers*) yang dijalankan dengan Sistem Operasi Ubuntu 16.04 LTS.

- GMT (*Generic Mapping Tools*).

Aplikasi *opensource* yang digunakan untuk memproses dan menampilkan dataset xy dan xyz, termasuk rasterisasi, penyaringan dan operasi pengolahan citra lainnya, dan berbagai macam proyeksi peta (<http://gmt.soest.hawaii.edu/>). GMT digunakan untuk memplotting peta penurunan muka tanah.

- GMTSAR,

Aplikasi *opensource* berbasis Ubuntu (GNU *General Public License*) untuk pengolahan InSAR yang dibuat untuk *user* yang *familiar* dengan *Generic Mapping Tools* (GMT)

- *Cygwin*.

Cygwin digunakan dalam proses *unwrapping* citra yaitu *software emulator* Unix pada system operasi Windows.

3.3 Metodologi Pelaksanaan Pengolahan

3.3.1 Tahapan Penelitian

Secara garis besar, tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.3. Dengan penjelasan tahap penelitian meliputi :

a. Tahap Persiapan

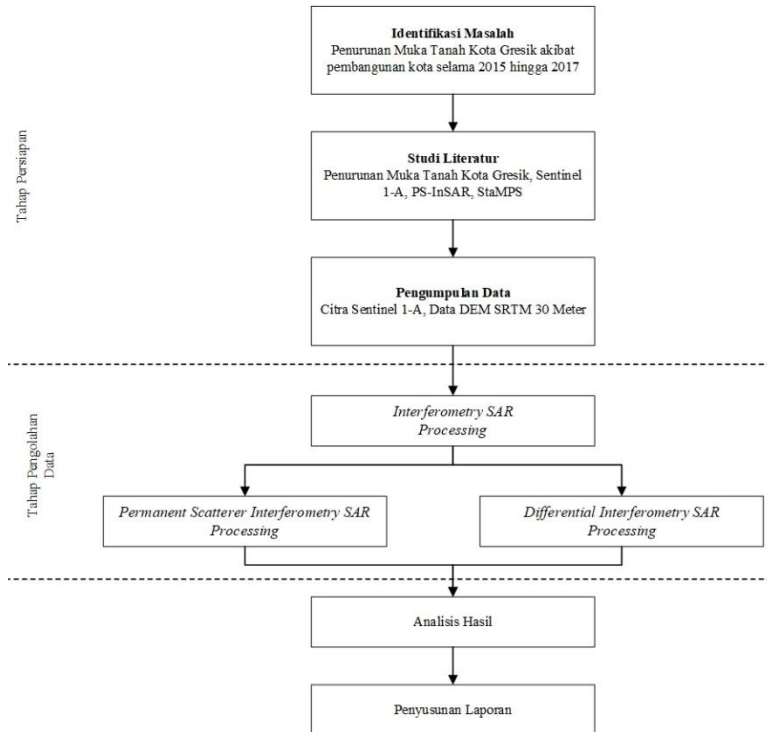
Pada tahapan persiapan ini dilakukan beberapa langkah meliputi :

i. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah memiliki tujuan untuk mengetahui teknik StaMPS pada metode PS-InSAR. Teknik ini digunakan untuk menganalisis permukaan tanah kota gresik pada tahun 2015 hingga tahun 2017 menggunakan data citra satelit Sentinel-1A *multi temporal*. Pemilihan daerah penelitian dimana pasangan citra radar SLC (*Single Look Complex*) yang memenuhi syarat koherensi digunakan. Dalam PS-InSAR, kebutuhan data yang digunakan baik penggunaan citra radar yang rapat secara temporal dan tidak melebihi 7 tahun dari akuisisi data awalnya.

ii. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan proses pengumpulan data-data penunjang yang digunakan dalam penelitian tugas akhir untuk memperlancar proses pengolahan data. Adapun data-data tersebut diantaranya citra satelit Sentinel-1A level 1.0 (*Single Look Complex*), data DEM, data orbit dan data penunjang lainnya.



Gambar 3. 3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

b. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data pada tahap ini, data Sentinel-1A yang digunakan telah dalam format *Single Look Complex* (SLC) yang kemudian dilakukan pembentukan interferogram dari 23 citra Sentinel-1A dengan 1 citra sebagai citra *master*.

c. Tahap Analisis Data

Tahap analisis data dilakukan dengan membandingkan besar penurunan muka tanah kota Gresik dengan PS-

InSAR dengan teknik StaMPS terhadap kondisi geologi daerah Kabupaten Gresik.

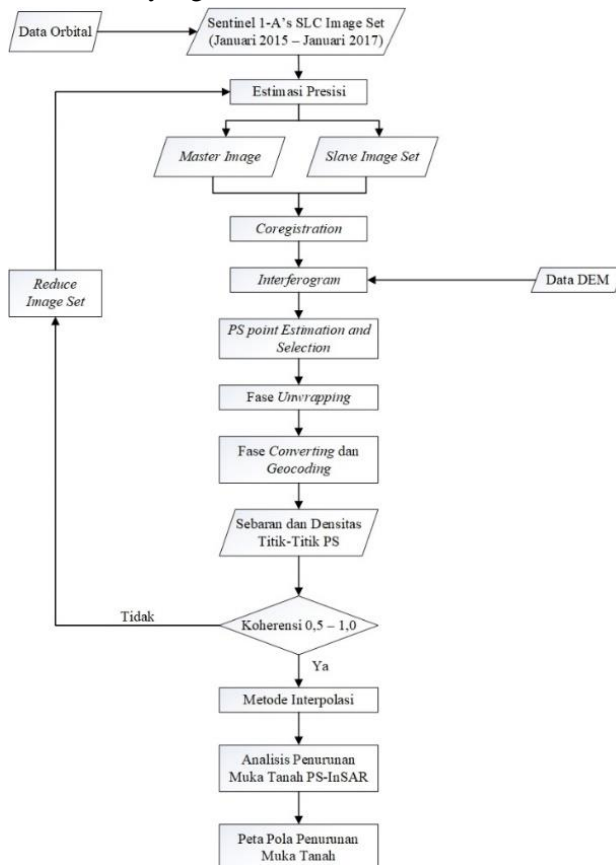
d. Tahap Akhir

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan penerapan metode PS-InSAR (*Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar*) untuk analisis penurunan muka tanah kota Gresik Jawa Timur.

3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan PS-InSAR

Berikut adalah penjelasan dari tahapan diagram alir tahapan umum pengolahan PS-InSAR :

Pada tahap pelaksanaan dilakukan pemilihan citra *master* dan *slave* dengan parameternya adalah efektif *baseline*, tanggal akuisisi, frekuensi *centroid Doppler* dan kondisi iklim pada saat akuisisi data. Kondisi atmosfer diperlukan untuk mengidentifikasi apabila terjadi sinyal atmosfer yang kuat didalam citra radar tersebut. Selain itu,



Gambar 3. 4 Tahapan Umum Pengolahan PS-InSAR

dalam pemrosesan data InSAR juga diperlukan parameter geometri pengamatan seperti *height-to-phase conversion factor*, *the flat-earth phase*, *the range distance* dan *the look angle*. Dalam tahap pelaksanaan, terdapat beberapa proses diantaranya :

a. *DInSAR Processing*

Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR) adalah metode pencitraan radar ke samping dengan memanfaatkan perbedaan fasa dua atau lebih dari citra SAR dengan akuisisi yang berbeda dalam pengolahannya untuk mendapatkan topografi dan deformasi terutama untuk penurunan muka tanah. Untuk menghitung model deformasi pada metode DinSAR (Ketelaar dkk., 2005) menggunakan hitungan model :

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\text{topo}} + \Delta\varphi_{\text{defo}} + \Delta\varphi_{\text{atm}} + \Delta\varphi_{\text{orb}} \dots \dots (3.1)$$

Masing-masing besaran dalam persamaan (3.1) sebagai berikut:

φ = beda fasa

φ_{topo} = fasa topografi

φ_{defo} = fasa deformasi

φ_{atm} = fasa atmosferik

φ_{orb} = fasa orbit

Selama pemrosesan DInSAR, dilakukan simulasi parameter-parameter geometri pengamatan. DEM (*Digital Elevation Model*) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) dan *Precise Orbit* digunakan sebagai *input data* sehingga fasa *interferogram* dapat dimodelkan secara teliti. Kedua hubungan sistem koordinat antara citra *master* dan citra *slave* diperoleh dari titik ikat bersama dipermukaan bumi. Sehingga akan dilakukan proses *co-registration* pada kedua citra tersebut.

b. Calibration

Pada metode PS-InSAR mulai diperkenalkan konsep kalibrasi dimana dilakukan analisis temporal *backscattering* berbasis piksel dengan memperhatikan bobot intensitas sebarannya. Kesalahan yang muncul akibat adanya antena *pattern loss* dan *range spreading loss* dapat direduksi seminimal mungkin. Koreksi ini sebagai faktor perkalian yang terdiri dari faktor konstan (*calibration constant*, *antenna pattern gain*, *replica pulse power*), faktor dependensi jangkauan (*slant range*, *incidence angle*) dan *powerloss*, yang bervariasi pada citra yang utuh. Untuk tujuan tertentu, koreksi ini dapat disederhanakan dengan menghasilkan metode kalibrasi empiris (Ketelaar dkk. 2005).

c. Permanent Scatterer Detection and Estimation

Analisis temporal dari fasa differensial terbatas pada titik pantulan dengan nilai SNR tinggi dan perilaku gelombang pantul yang stabil dalam jangka waktu lama (umumnya obyek buatan manusia). Proses identifikasi PS-InSAR didalam *co-registrasion* citra terkalibrasi adalah dengan melakukan tes homogenitas (Ferretti dkk. 2007). Bertujuan untuk menemukan sebanyak mungkin pantulan yang disebabkan oleh pola penurunan muka tanah (deformasi) dan pola atmosfer secara rapat berdasarkan konsep spasial dan juga untuk menghindari adanya titik pantulan yang memiliki kualitas rendah dimana hasilnya akan berupa *grid* tak beraturan (*irregular grid*). Tahapan yang penting lainnya adalah proses ekstraksi data dan konversi data dari *raster* menjadi data vektor. Berdasarkan fasa DInSAR yang telah diperoleh sebelumnya akan muncul persoalan non linier inversi dikarenakan konsep modulo 2π (membutuhkan proses *unwrapped*). Hal ini bisa diselesaikan dengan menggunakan perilaku berbeda

dalam kontribusi parameter akuisisinya seperti *baseline* efektif, *baseline* temporal, kesalahan orbit, jangkauan dan azimuth lokasi dari pantulan (Adam dkk. 2003). Dilakukan estimasi relatif antara titik pantulan yang berdekatan satu dengan lainnya sehingga akan mereduksi pengaruh atmosfer dan kesalahan orbit. Selain itu estimasi relatif yang diselesaikan dengan teknik hitung perataan yang ditransformasikan dalam bentuk peta global deformasi 2D akan membantu dalam penyusunan periodogram laju deformasi. Umumnya didalam proses estimasi ini juga dilakukan validasi data PS-InSAR dengan metode dan algoritma tertentu pula.

d. Fase *Unwrapping*, *Converting* dan *Geocoding*.

Informasi yang terdapat pada interferogram masih terbatas antara nilai $0 - 2\pi$ saja, sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Untuk mendapatkan informasi bentuk geometri obyek yang baik, perlu diminimalisir efek noise dengan mengkombinasikan beberapa citra radar (Feigl 1998). Untuk mengatasi masalah ambiguitas ini adalah dengan melakukan *phase unwrapping*. Hal ini bertujuan untuk menentukan fase absolut interferometrik dari fase relatif karena berhubungan langsung dengan topografi dan deformasi. Proses *Geocoding* adalah proses untuk mengikatkan semua titik tersebut terhadap suatu referensi koordinat tertentu dimana hitungan untuk mendapatkan posisi titik di permukaan bumi dilakukan dengan menggunakan beberapa persamaan. (Saputro, Kahar dan Sasmito 2011). Teknik StaMPS (*Stanford Method for Persistent Scatterers*) adalah metode PS-InSAR pertama yang didesain untuk memperkirakan sinyal deformasi yang terjadi dengan adanya *scatterers* yang sangat terang menggunakan jaringan PS yang konsisten (Hooper 2006). Teknik PS-InSAR dengan kerangka

kerja StaMPS digunakan untuk mengolah data citra Sentinel 1-A level 1.0 menjadi peta laju penurunan muka tanah. StaMPS merupakan algoritma yang dijalankan dengan aplikasi Matlab.

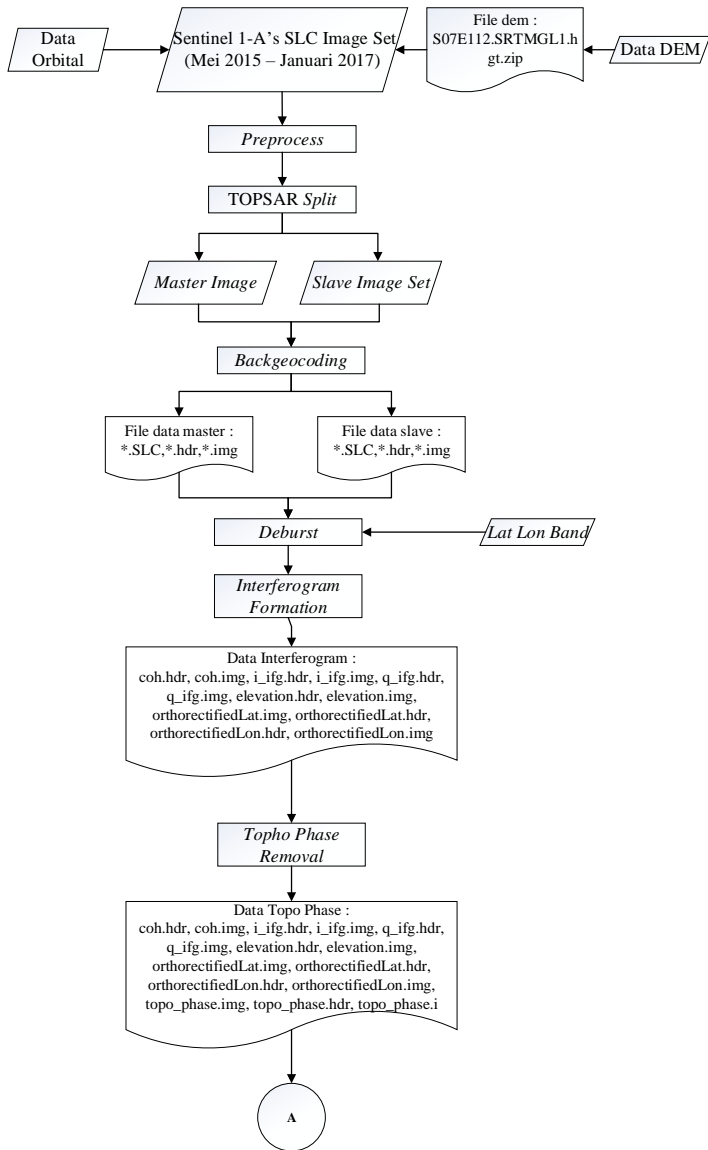
e. Tahap Akhir

Pada tahap akhir dilakukan setelah proses interpolasi. Agar didapatkan hasil terbaik, digunakan metode interpolasi dengan metode *kriging*. Analisis penurunan muka tanah berdasarkan hasil dari pengolahan data dengan teknik PS-InSAR diidentifikasi dengan struktur geologi kota Gresik. Untuk memperoleh nilai atau tingkat ketelitian dan kepercayaan data, hasil pengolahan akan dilakukan validasi dengan data dari peta Geologi yang ada di Kabupaten Gresik sehingga akan didapatkan pola penurunan muka tanah yang terjadi selama bulan Mei 2015 hingga Januari 2017.

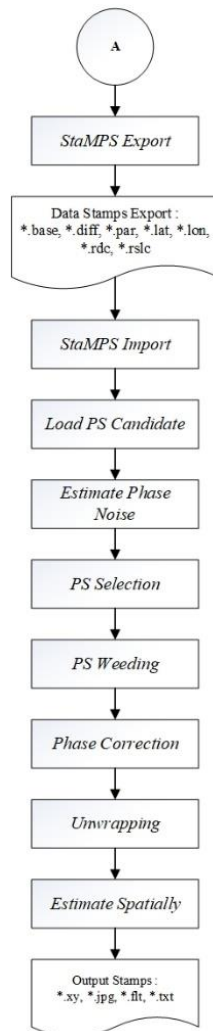
3.3.3 Tahapan Pengolahan PS-InSAR dengan StaMPS

Dalam pengolahan PS-InSAR, diperlukan beberapa tahapan konversi antar *software* pengolah. Hal ini dilakukan karena pada beberapa *software* tidak mendukung algoritma

Tahapan pengolahan PS-InSAR dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3. 5:



Gambar 3. 5 Diagram Alir Pengolahan PS-InSAR dengan SNAP

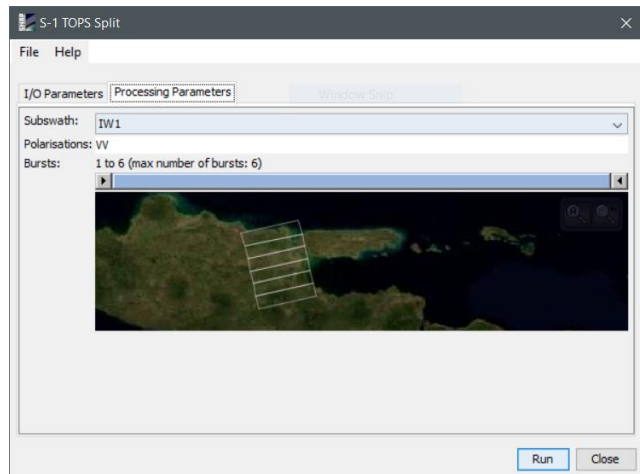


Gambar 3. 6 Lanjutan diagram Alir Pengolahan PS-InSAR dengan SNAP

a. *Preprocess*

Pada tahap *preprocess*, ini di dalamnya data citra SAR yang sudah dalam bentuk *Interferogram Subswath* (IW) dan *Single Look Complex* (SLC). Citra yang digunakan untuk analisis PS berupa polarisasi HH atau VV. Data yang dibutuhkan minimal 8 citra namun, ESA merekomendasikan untuk menggunakan lebih dari 20 citra. Selanjutnya, akan dilakukan tahap *Read Product*, *TOPSAR-Split* dan *Apply Orbit File*.

Langkah pertama adalah membaca citra sebagai *file .zip* saat didapatkan dari Copernicus. Pemilihan salah satu dari 3 *Sub-swath* yang ada pada produk SLC Sentinel-1. Pemilihan *Sub-swath* ini bertujuan untuk memfokuskan daerah penelitian dan mempercepat waktu pengolahan citra pada SNAP dibandingkan dengan gabungan 3 *Sub-swath*.

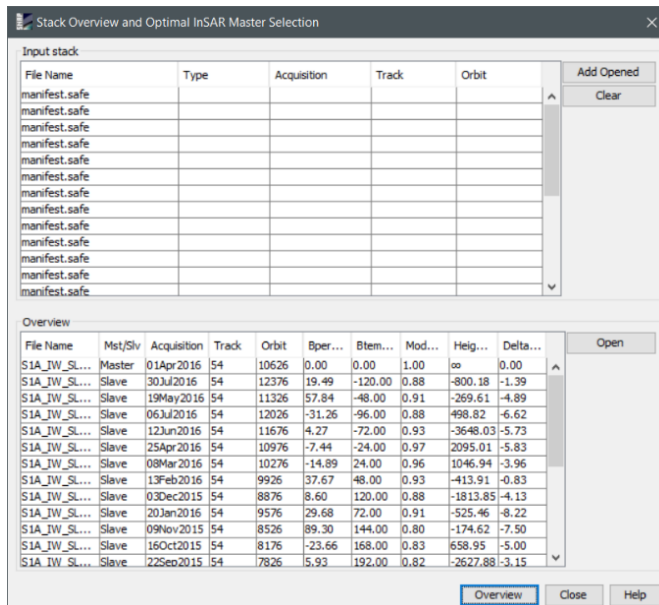


Gambar 3. 7 S-1 TOPS Split untuk memilih salah satu *sub-swath*

Pada Gambar 3.7, *sub-swath* IW1 dipilih karena sesuai dengan lokasi penelitian yaitu di Kabupaten Gresik. Pemotongan citra dilakukan satu per satu dengan kepastian semua citra dipotong menggunakan *sub-swath* yang sama sesuai lokasi penelitian. Dalam hal ini, subset tidak dilakukan karena akan menghilangkan informasi–informasi pendukung untuk *interferometry*.

Hasil dari tahap ini berupa *.hdr, *.img, *.dim yang didalamnya termuat data hasil pemisahan *subswath*. Langkah dari tahap preprocess adalah sebagai berikut :

SNAP → File → Open product → manifest.safe
 SNAP → Radar → Apply Orbit File
 SNAP → Sentinel-1 TOPS → S-1 TOPS Split



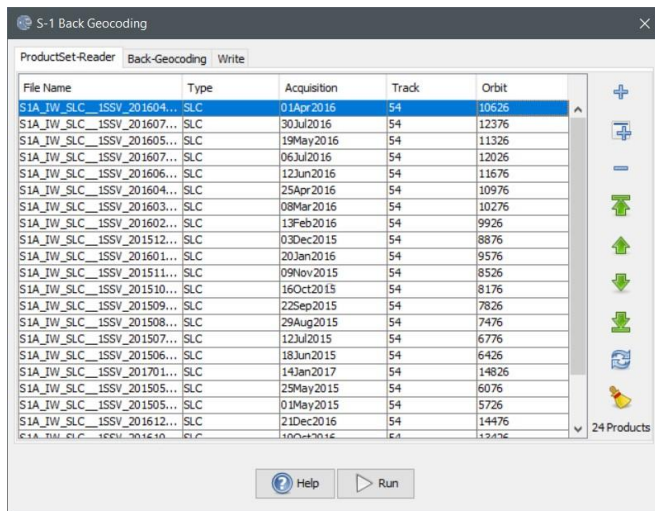
Gambar 3. 8 Informasi untuk menentukan citra *master* yang optimal

Penentuan citra sebagai citra *master* untuk mendapatkan citra yang optimal dapat ditentukan dengan melihat pada *InSAR Stack Overview*.

b. Backgeocoding

Pada pengolahan koregistrasi dua atau lebih citra yang kompleks, citra kedua (*slave image*) diolah/dimanipulasi hingga memiliki kemiripan dengan citra utama (*master image*) dan juga meregistrasikan pasangan citra dalam kerangka orbit yang sama. Tahap *Backgeocoding* adalah tahap koregistrasi citra SLC pada pengolahan PS-InSAR dengan *software* SNAP. *Backgeocoding* digunakan karena data *slave* yang akan digunakan berupa *multiplerdata*. Pada tahap ini, citra sudah memiliki data orbit. Langkah dari tahap *Backgeocoding* adalah sebagai berikut :

SNAP → Radar → Coregistration → S1 TOPS
Coregistration → S-1 Back Geocoding

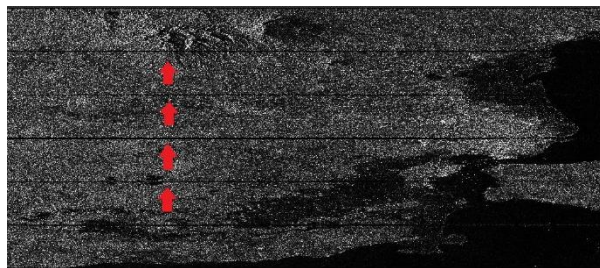


Gambar 3. 9 Proses koregistrasi dengan *Backgeocoding*

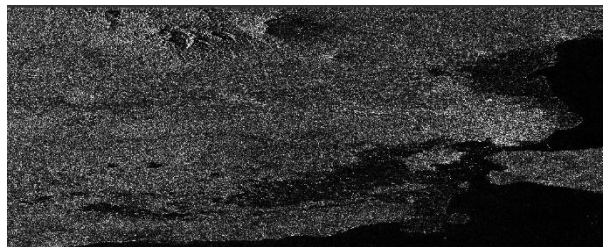
Pada proses *Backgeocoding* (Gambar 3.9), citra master paling optimal yang diperoleh dari *InSAR Stack Overview* harus diletakkan paling ke set teratas pada *ProductSet-Reader*.

c. *Deburst*

Untuk menghilangkan efek pada tepi yang ditunjukkan pada bagian terakhir, operator TOPSAR-Deburst digunakan. TOPSAR-Deburst digunakan untuk menggabungkan *burst* dari pengolahan arah *azimuth* dan *range* menjadi satu citra yang utuh. *Deburst* dilakukan karena mode perekaman satelit Sentinel-1 series menggunakan sistem *subswath* dan *burst*, sehingga menyebabkan adanya *gap* antar burst yang harus dikoreksi sebelum proses *interferometry* dilanjutkan.



(a)



(b)

Gambar 3. 10 *Intensity Band* a) sebelum *deburst* ; b) setelah *deburst*.

Langkah dari tahap *deburst* adalah sebagai berikut :

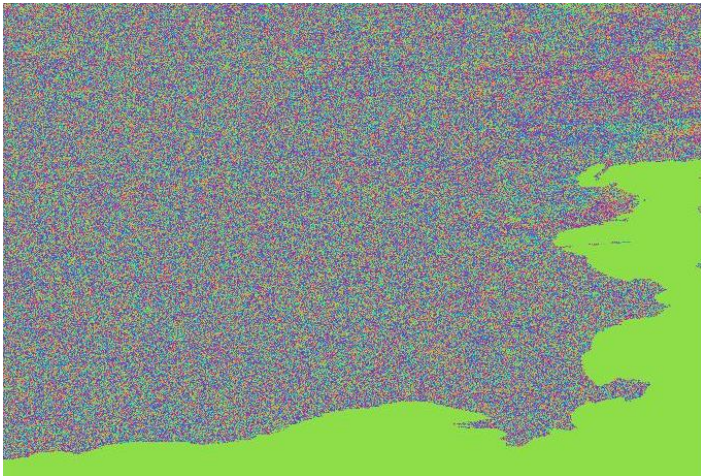
SNAP → Radar → S1 TOPS → S-1 TOPS Deburst

d. *Interferogram Formation*

Tahap *interferogram* dilakukan untuk pembentukan beda fase antara *citra slave* dan *citra master*. Selain itu, pada tahap ini nilai dapat diketahui nilai koherensi antar citra.

Langkah dari tahap *Interferogram* adalah sebagai berikut :

SNAP → Radar → Interferometric → Product → Interferogram Formation



Gambar 3. 11 Fase *Interferogram*

e. *Topographics Phase Removal*

Pada Fase ini, pengurangan fase topografi menggunakan DEM external yang ada pada SNAP. DEM dalam *software* SNAP memberikan beberapa opsi yang *autodownload*. Hasil ini digunakan untuk simulasi interferogram berdasarkan referensi pada DEM.

Langkah dari tahap *Topographics Phase Removal* adalah sebagai berikut :

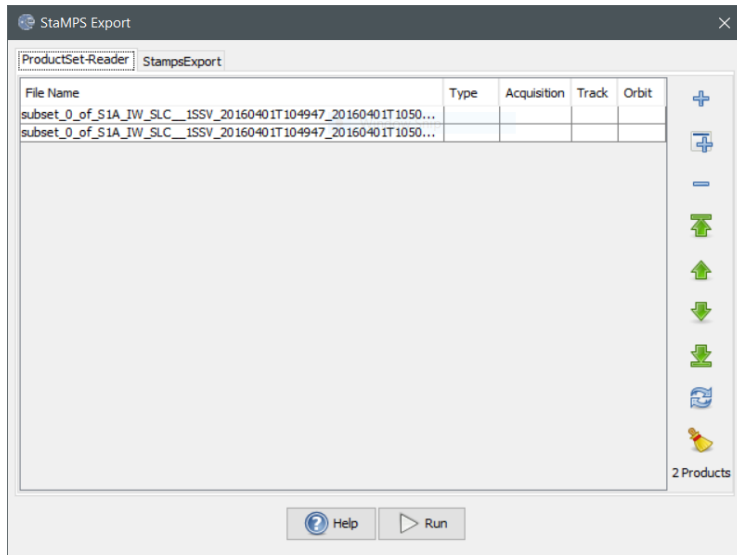
SNAP → Radar → Interferometric → Product →
Topographics Phase Removal

f. *StaMPS Export*

Pengolahan PS-InSAR tidak bisa dilakukan sepenuhnya pada *software* SNAP karena algoritma StaMPS belum sepenuhnya mendukung pengolahan PS-InSAR pada SNAP. Untuk itu, SNAP memberikan opsi *export* ke dalam algoritma StaMPS.

Langkah dari tahap *Topographics Phase Removal* adalah sebagai berikut :

SNAP → Radar → Interferometric → PSI/SBAS →
StaMPS Export.



Gambar 3. 12 Proses StaMPS Export pada SNAP

Pada tahap ini akan dihasilkan 4 folder yang memuat data DEM, elevasi, dan data master. Dari folder tersebut terdapat file *.diff, *.base, *.par, *.rslc, *.lan, *.lon, *.rdc.

Selanjutnya, dari file-file tersebut dilakukan proses konversi dari algoritma SNAP ke algoritma StaMPS pada Matlab. Proses ini dilakukan pada Sistem Operasi Ubuntu 16.04 LTS.

Langkah dari tahap konversi dengan Terminal Ubuntu adalah sebagai berikut :

```
#open terminal (further StaMPS-terminal) and close it
when you finished all steps in StaMPS
source
/home/rog/StaMPS_v3.3b1/StaMPS_CONFIG.bash
#<yyyymmdd> must be the date of the master
#the / in the end of the path information is crucial!
mt_prep_gamma_snap <yyyymmdd>
/home/rog/PSI/INSAR_master_date/ 0.4
```

Proses ini menghasilkan beberapa file diantaranya *.in, *.node, *.edge, *.ele, *.conf.

g. *StaMPS Import*

Tahap *StaMPS Import* dilakukan pada aplikasi Matlab pada Ubuntu.

h. *Loading PS Candidate*

Folder yang file hasil konversi dari StaMPS ditambahkan dengan *add path* pada Matlab. Langkah dari tahap *Loading PS Candidate* adalah sebagai berikut :

```
>> stamps (1,1)
PS_LOAD_INITIAL_GAMMA: Starting
Loading data into matlab...
```

i. *Estimate Phase Noise*

Tahap ini termasuk tahap pengulangan untuk memperkirakan nilai fase *noise* setiap kandidat piksel pada suatu interferogram.

Untuk mendapatkan koherensi temporal, fase yang dikorelasikan secara spasial dapat diperkirakan dan disubtrak. Dari fase yang tersedia, kesalahan DEM yang tidak berkorelasi secara spasial lebih dari estimasi dan pengurangan juga. Setelah itu koherensi temporal diperkirakan dari fase residual. Langkah dari tahap *Estimate Phase Noise* adalah sebagai berikut :

```
>> stamps (2,2)
PS_EST_GAMMA_QUICK: Starting
PS_EST_GAMMA_QUICK: Estimating gamma for
candidate pixels
```

j. *PS Selection*

Pada tahap ini, piksel dipilih berdasarkan karakteristik *noise*. Selain itu, langkah ini memperkirakan piksel acak (piksel non PS) pada sebuah *scene* yang mana *density* tiap km dapat diperoleh. Langkah dari tahap *PS Selection* adalah sebagai berikut :

```
>> stamps (3,3)
PS_SELECT: Starting
PS_SELECT: Selecting stable-phase pixels...
```

k. *PS Weeding*

Piksel yang dipilih pada langkah sebelumnya dalam kondisi *weed*, dihilangkan karena kontribusi sinyal dari elemen *ground resolution* yang berdekatan dan yang dianggap *noisy*. Data untuk piksel yang terpilih disimpan pada *workspace* baru. Langkah dari tahap *PS Weeding* adalah sebagai berikut :

```
>> stamps (4,4)
PS_WEED: Starting
PS_WEED: Weeding selected pixels...
```

l. *Phase Correction*

Fase *wrapped* dari piksel yang dipilih dikoreksi untuk kesalahan sudut tampilan yang tidak berkorelasi secara spasial (DEM). Pada akhir langkah ini tambalan digabung

Langkah dari tahap *PS Weeding* adalah sebagai berikut :

```
>> stamps (5,5)
PS_CORRECT_PHASE: Starting
Correcting phase for look angle error...
```

m. Fase *Unwrapping*

Pada fase ini, citra yang dihasilkan dari proses interferogram masih dalam satuan radian (satuan fase sudut) dengan rentang nilai $-\pi$ sampai dengan π . Pada proses *unwrap* juga merupakan proses menghilangkan kesalahan *aliasing* (bergesernya frekuensi tinggi gelombang seismik menjadi lebih rendah) dari suatu *noise*.

Untuk mengetahui besar deformasi dilakukan perhitungan dari formula *displacement of the earth's surface* sepanjang *sensor line of sight* (LOS) (Ng dkk. 2008), yaitu :

$$\Delta\phi_{dn} = \frac{4\pi\Delta R}{\lambda} \dots\dots\dots(3.1)$$

Masing-masing besaran dalam persamaan (3.1) sebagai berikut :

λ : Panjang gelombang citra Sentinel-1A,
 $\Delta\phi_{dn}$: Nilai perbedaan fase
 R : Jarak panjang gelombang.

Data koordinat yang dilakukan dalam proses pemotongan merupakan koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Langkah dari tahap *Unwrapping* adalah sebagai berikut :

```
>> stamps (6,6)
PS_UNWRAP: Starting
Phase-unwrapping...
```

n. *Estimate Spatially*

Kesalahan *Spatially-Unrelated look angle* (SULA) telah dihitung pada step 3 dan telah dihilangkan pada step 5. Fase *Master atmosphere and orbit error* (AOE) diperkirakan secara simultan.

Hasil akhir dari proses StaMPS berupa data *.xy, *.flt, *.kml, *.jpg dan *.txt.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

4.1.1 Panjang Baseline dan Interval Waktu

Deformasi dalam bentuk penurunan muka tanah dapat terjadi pada tiap titik di permukaan bumi. Dalam kasus ini, penurunan terjadi baik secara signifikan ataupun stabil dalam kurun waktu tertentu. Penurunan muka tanah yang terjadi pada kabupaten Gresik bervariasi antara 0 hingga - 49,35 mm/tahun pada rentang Mei 2015 hingga Januari 2016 termasuk dalam penurunan yang signifikan.

Besarnya nilai *baseline* dan jarak juga mempengaruhi nilai koherensi yang akan didapatkan pada pembentukan citra interferogram. Untuk memperoleh nilai koherensi pasangan citra yang baik, diperlukan jarak temporal yang tidak lebih dari 6 bulan dan panjang *baseline* yang tidak lebih dari 150 m (Ferretti dkk, 2007).

Dari data SLC yang digunakan dalam pemrosesan PS-InSAR dengan SNAP dan StaMPS dapat diketahui bahwa dari 23 pasang citra yang dibagi menjadi 2 bagian yang membentuk formasi interferogram yang memiliki panjang *baseline perpendicular* dan *baseline temporal* seperti yang tercantum pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 *Baseline Perpendicular dan Temporal* Pengolahan SAR

<i>ID_Scene</i>	<i>Tanggal</i>	<i>Baseline Perpendicular</i>	<i>Baseline Temporal</i>
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20150501 T104948	1 April 2016 – 1 Mei 2015	-93,40 m	336 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20150525 T104950	1 April 2016 – 25 Mei 2015	-22,40 m	312 hari

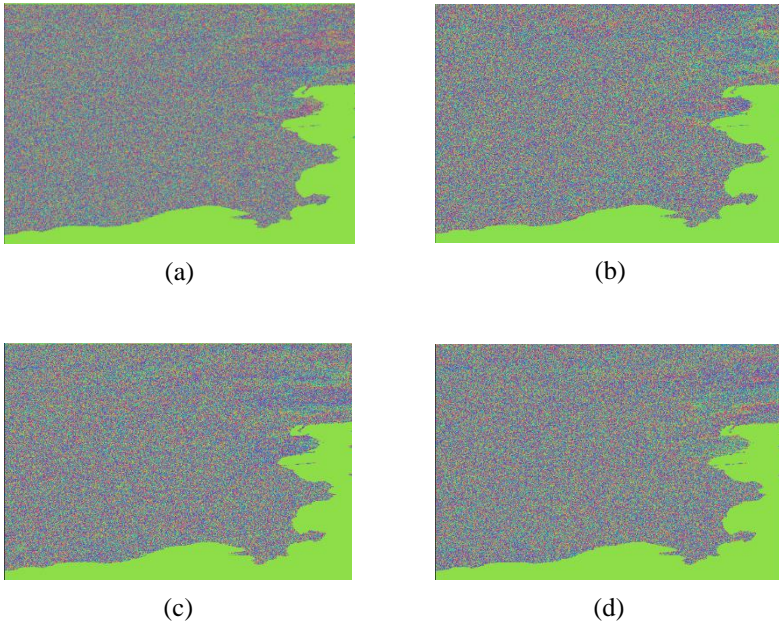
<i>ID_Scene</i>	Tanggal	<i>Baseline Perpendi cular</i>	<i>Baseline Temporal</i>
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20150618 T104951	1 April 2016 – 18 Juni 2015	39,17 m	288 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20150712 T104951	1 April 2016 – 12 Juli 2015	67,27 m	264 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20150829 T104954	1 April 2016 – 29 Agustus 2015	-21,01 m	216 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20150922 T104955	1 April 2016 – 22 September 2015	5,92 m	192 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20151016 T104955	1 April 2016 – 16 Okt 2015	-22,90 m	168 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20151109 T104955	1 April 2016 – 9 Nov 2015	97,89 m	144 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20151203 T104949	1 April 2016 – 3 Des 2015	10,92 m	120 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160120 T104947	1 April 2016 – 20 Jan 2016	33,97 m	72 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160213 T104947	1 April 2016 – 13 Feb 2016	41,86 m	48 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160308 T104947	1 April 2016 – 8 Maret 2016	-12,68 m	24 hari

<i>ID_Scene</i>	<i>Tanggal</i>	<i>Baseline Perpendi cular</i>	<i>Baseline Temporal</i>
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160425 T104948	1 April 2016 – 25 April 2016	9,33 m	-24 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160519 T104952	1 April 2016 – 19 Mei 2016	61,21 m	-48 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160612 T104954	1 April 2016 – 12 Juni 2016	2,17 m	-72 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160706 T104955	1 April 2016 – 6 Juli 2016	-29,23 m	-96 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160730 T104957	1 April 2016 – 30 Juli 2016	20,24 m	-120 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160823 T104958	1 April 2016 – 23 Agustus 2016	-22,93 m	-144 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20160916 T104959	1 April 2016 – 16 Sep 2016	41,47 m	-168 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20161010 T104959	1 April 2016 – 10 Okt 2016	-21,83 m	-192 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20161127 T104959	1 April 2016 – 27 Nov 2016	4,22 m	-240 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20161221 T104958	1 April 2016 – 21 Des 2016	10,87 m	-264 hari
S1A_IW_SLC_20160401 T104947_20170114 T104956	1 April 2016 – 14 Jan 2017	-20,73 m	-288 hari

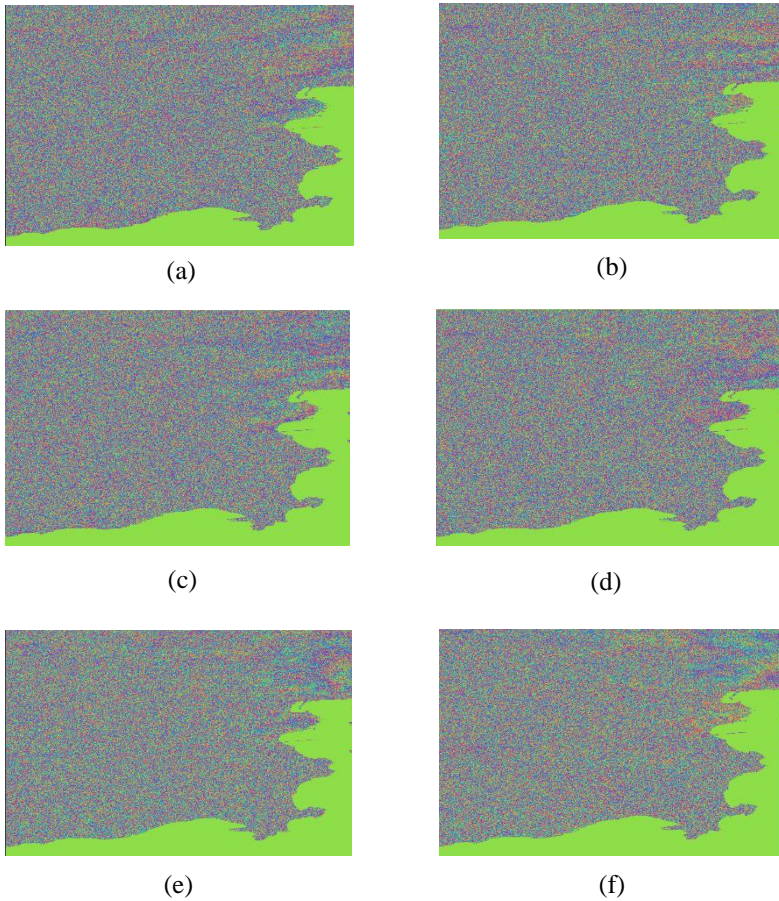
4.1.2 Interferogram Phase

Perbedaan dalam pengukuran beda fase pada InSAR dimanfaatkan untuk mendapatkan nilai beda jarak dan perubahan jarak antar citra pada permukaan yang sama.

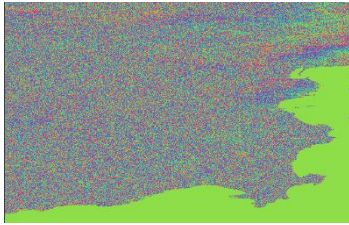
Hasil pembentukan citra interferogram berupa citra fase interferogram dan amplitude pada sistem koordinat radar menggunakan DEM SRTM 30 meter sebagai referensi untuk eliminasi efek topografi.



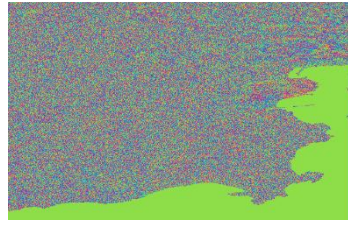
Gambar 4. 1 Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 1 Mei 2015; (b) fase 1 April 2016 – 25 Mei 2015; (c) fase 1 April 2016 – 18 Juni 2015; (d) fase 1 April 2016 – 12 Juli 2015



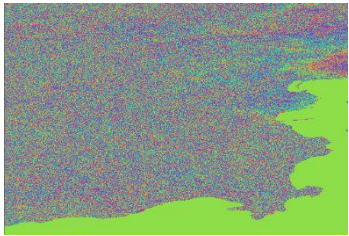
Gambar 4. 2 Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 29 Agustus 2015; (b) fase 1 April 2016 – 22 September 2015; (c) fase 1 April 2016 – 16 Oktober 2015; (d) fase 1 April 2016 – 9 November 2015; (e) fase 1 April 2016 – 3 Desember 2015; (f) fase 1 April 2016 – 20 Januari 2016



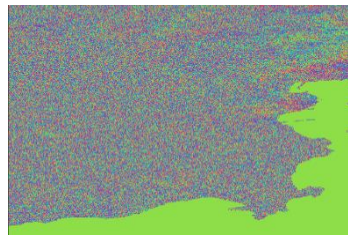
(a)



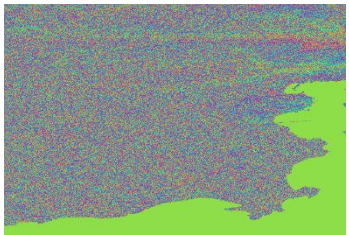
(b)



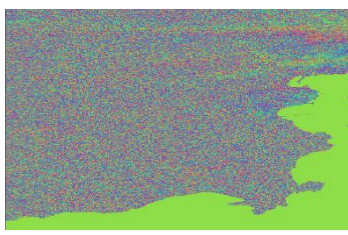
(c)



(d)

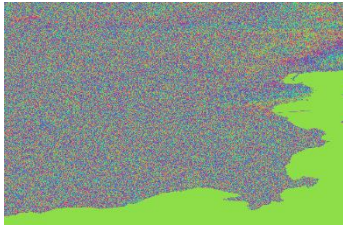


(e)

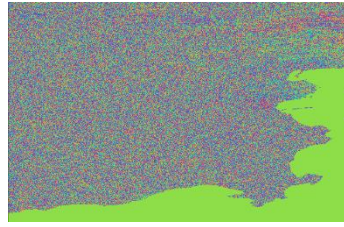


(f)

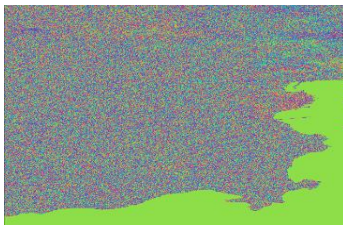
Gambar 4. 3 Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 13 Februari 2016; (b) fase 1 April 2016 – 8 Maret 2016; (c) fase 1 April 2016 – 25 April 2016; (d) fase 1 April 2016 – 19 Mei 2016; (e) fase 1 April 2016 – 12 Juni 2016; (f) fase 1 April 2016 – 6 Juli 2016



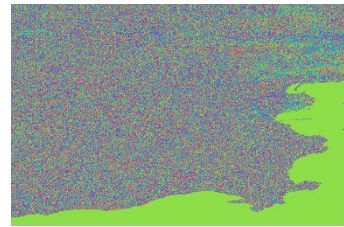
(a)



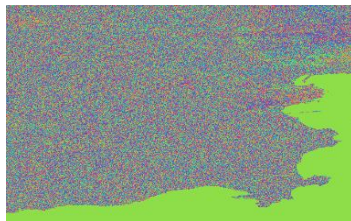
(b)



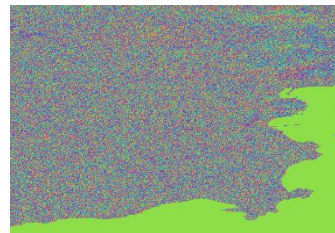
(c)



(d)



(e)



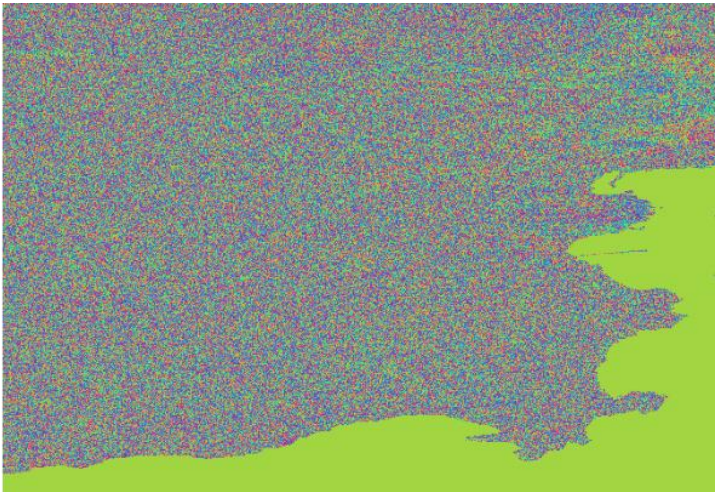
(f)

Gambar 4. 4 Citra Interferogram (a) fase 1 April 2016 – 23 Agustus 2016; (b) fase 1 April 2016 – 16 September 2016; (c) fase 1 April 2016 – 10 Oktober 2016; (d) fase 1 April 2016 – 27 November 2016; (e) fase 1 April 2016 – 21 Desember 2016; (f) fase 1 April 2016 – 14 Januari 2017

Pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 merupakan interferogram yang didalamnya masih terdapat efek topografi, deformasi dan *flat earth* (Sumantyo 2012). Oleh karena itu, efek tersebut harus dieliminasi. Untuk mengeliminasi efek tersebut dilakukan tahap *Tophographics Phase Removal*.

4.1.3 Topographic Phase Removal

Eliminasi efek topografi dilakukan dengan menggunakan referensi DEM SRTM. Sama halnya dengan pengolahan DInSAR, eliminasi ini bertujuan agar nilai pantulan pada citra tidak lagi dipengaruhi oleh kemiringan lereng.



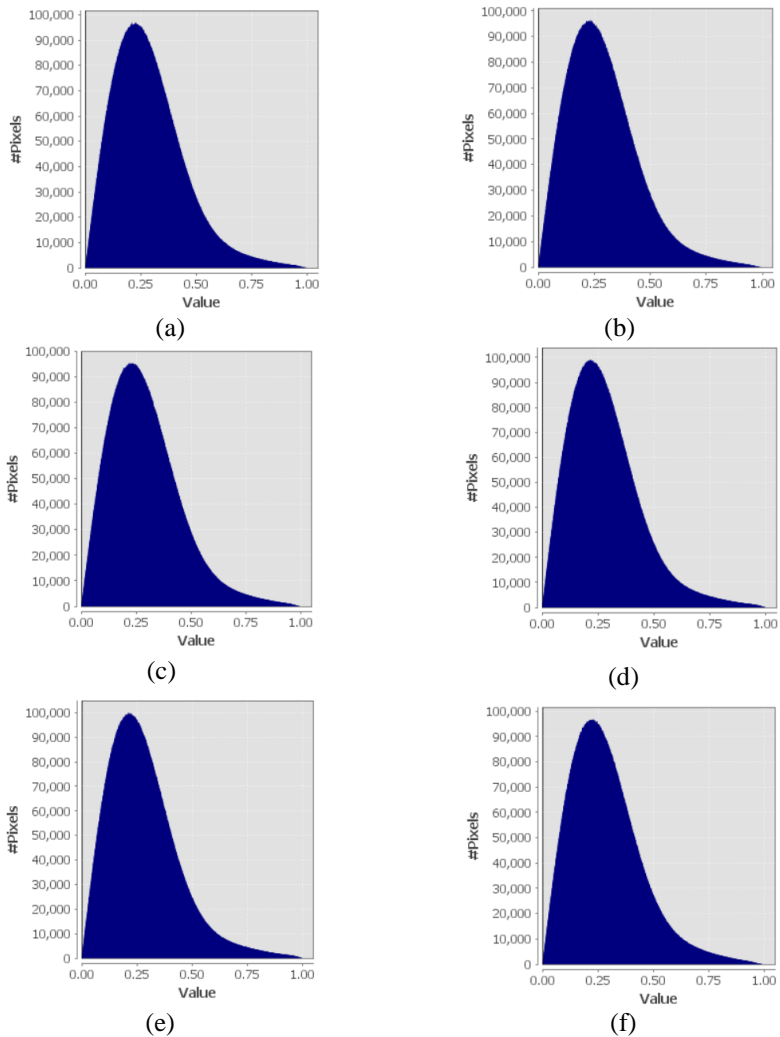
Gambar 4. 5 Fase setelah tahap penghapusan efek topografi

4.1.4 Koherensi Citra SAR

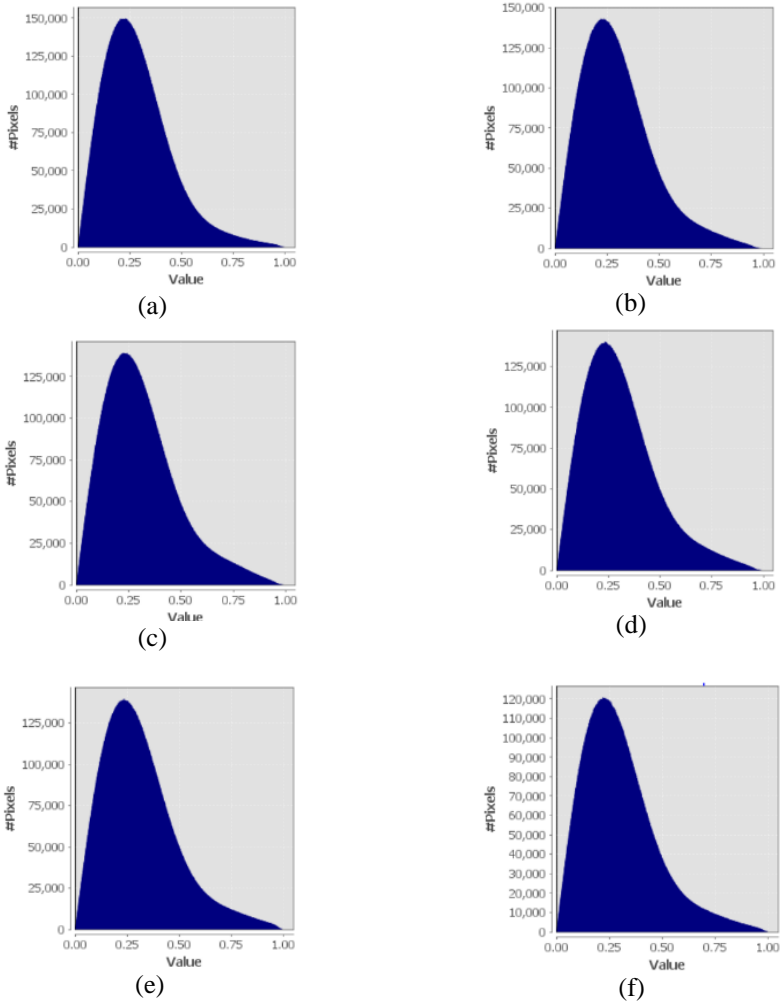
Citra interferogram yang dihasilkan memiliki nilai yang bervariasi. Variasi nilai koherensi digunakan untuk mengestimasi *fase noise* dari citra *interferogram*.

Koherensi pada citra *interferogram* memiliki kisaran nilai dengan skala 0-1. Semakin tinggi nilai koherensi maka tingkat kemiripan atau kecocokan antar citra semakin tinggi. Koherensi citra untuk pengolahan citra Sentinel-1 untuk analisis deformasi pada penelitian sebelumnya, nilai koherensi minimal 0,2 sudah cukup untuk mengetahui nilai sebaran pola deformasi.

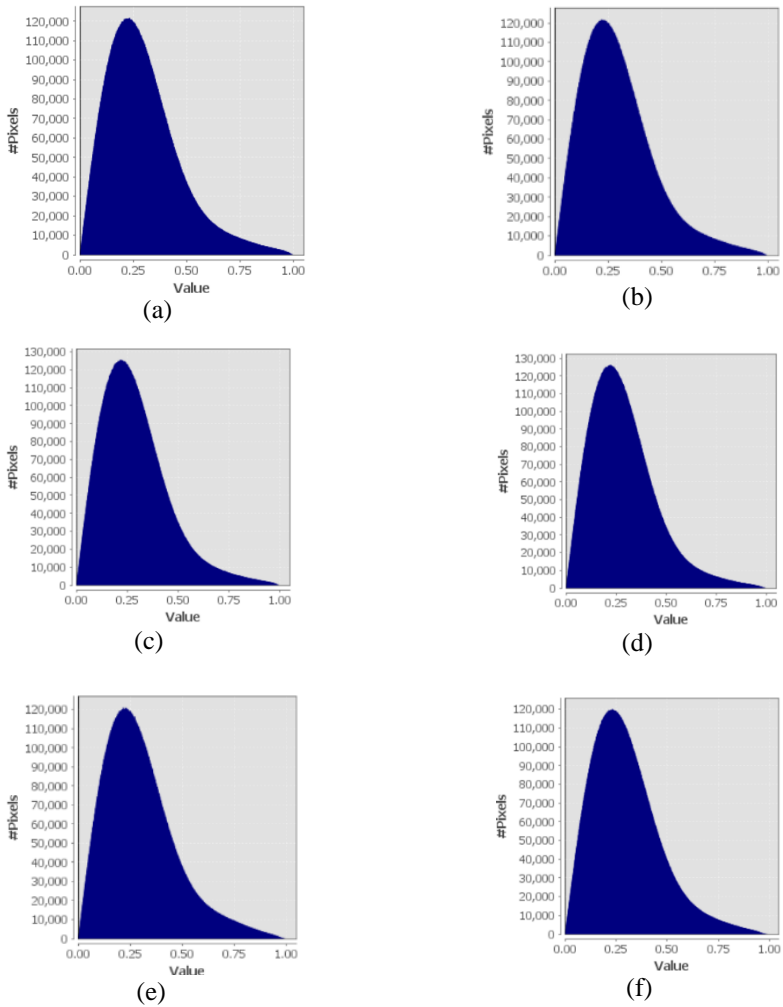
Nilai koherensi yang tergolong rendah pada citra interferogram dapat disebabkan karena adanya ketidakcocokan sifat dari dua sistem pencitraan yang terlibat. Hal tersebut dikarenakan adanya *volume scattering*, *error* pada saat pemrosesan, dll (Hanssen 2001). Perbedaan lebih dari tiga hari antar pasangan citra juga akan terpengaruh oleh dinamika penutup lahan dan pada akhirnya akan merubah karakteristik fase dari *backscatter*. Akuisisi data citra yang lebih dari 3 hari mengakibatkan koherensi antar citra menjadi rendah dan tidak mencapai nilai optimal minimal koherensi yaitu 0,5 dan rekomendasi oleh ESA adalah 0,6.



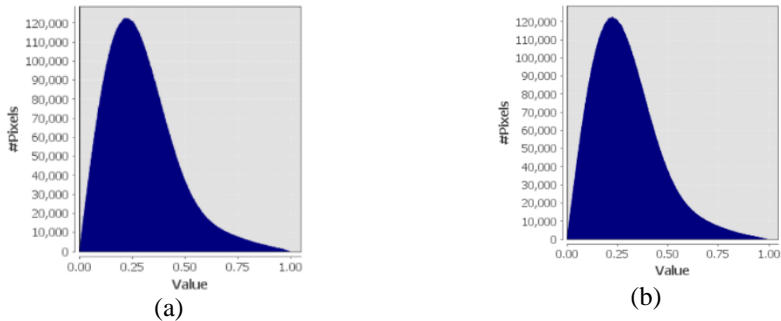
Gambar 4. 6 Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 18 Juni 2015; (b) 1 April 2016 – 12 Juli 2015; (c) 1 April 2016 – 29 Agustus 2015; (d) 1 April 2016 – 22 September 2015; (e) 1 April 2016 – 15 Oktober 2015; (f) 1 April 2016 – 9 November 2015



Gambar 4. 7 Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 3 Desember 2015; (b) 1 April 2016 – 20 Januari 2016; (c) 1 April 2016 – 13 Februari 2016; (d) 1 April 2016 – 8 Maret 2016; (e) 1 April 2016 – 25 April 2016; (f) 1 April 2016 – 19 Mei 2016



Gambar 4. 8 Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 12 Juni 2016; (b) 1 April 2016 – 6 Juli 2016; (c) 1 April 2016 – 23 Agustus 2016; (d) 1 April 2016 – 16 September 2016; (e) 1 April 2016 – 10 Oktober 2016; (f) 1 April 2016 – 27 November 2016



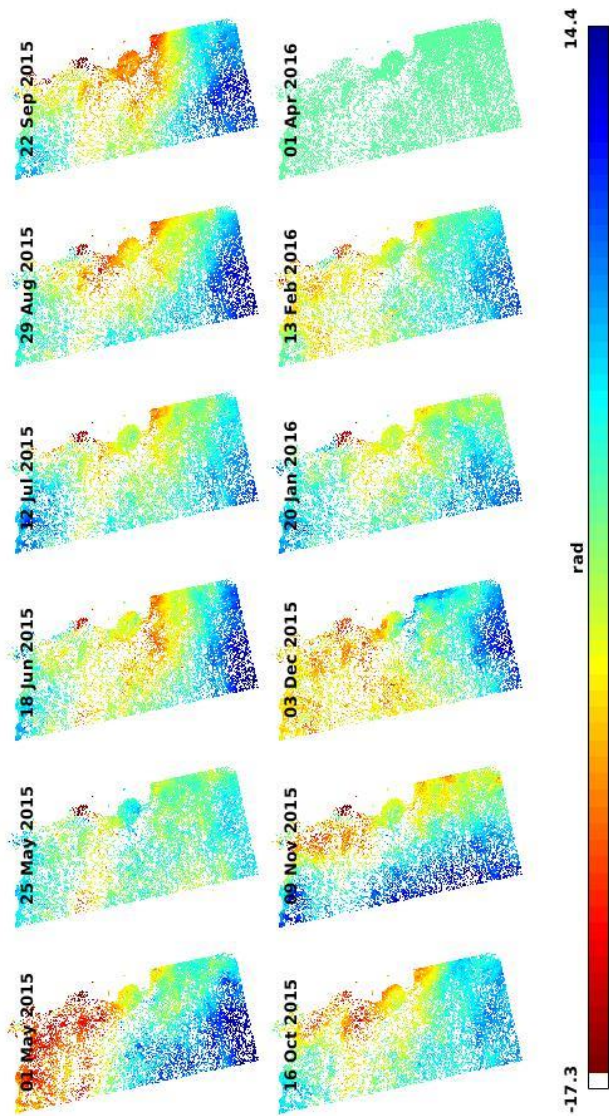
Gambar 4. 9 Diagram koherensi SAR (a) Pasangan 1 April 2016 – 21 Desember 2016; (b) 1 April 2016 – 14 Januari 2016

Dari data koherensi yang didapatkan, koherensi yang rendah juga diakibatkan karena pada daerah penelitian didominasi oleh perairan, pepohonan dan bangunan-bangunan besar seperti pabrik yang terletak di kawasan industri Gresik, apartemen, perumahan serta kemampuan yang rendah dari *Band C* yang tidak terlalu baik dalam menembus kanopi.

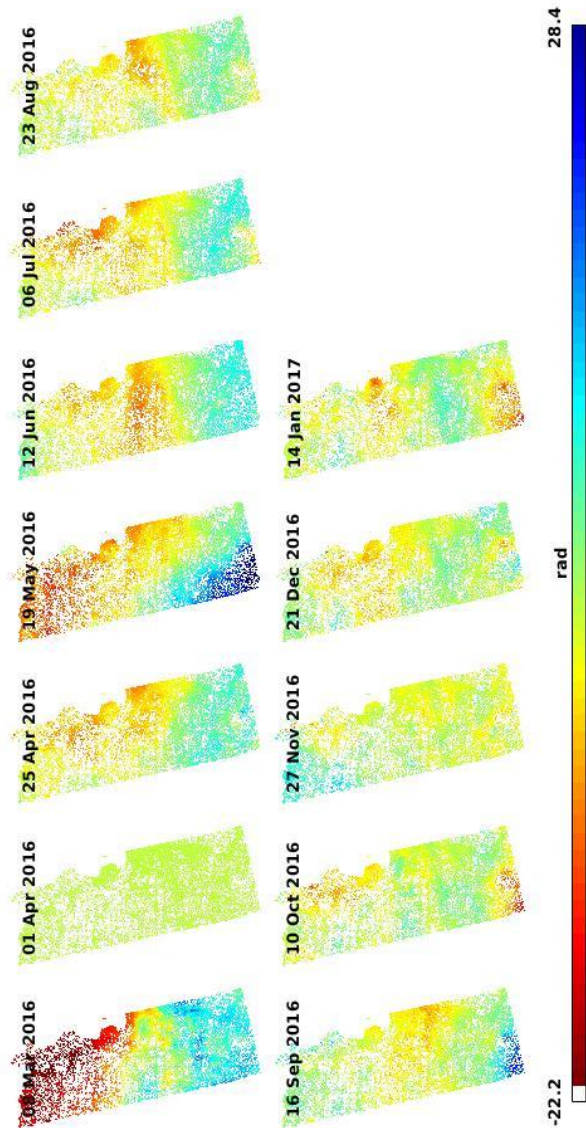
4.1.5 Nilai Fase *Unwrapping*

Saat *fringes* interferogram menunjukkan topografi atau deformasi, perubahan tinggi antara frings bernilai ambigu. Fase ini hanya diketahui dalam 2π . Fase *unwrapping* menyelesaikan ketidakpastian dan memungkinkan nilai perpindahan yang diturunkan dari produk. Area blank *unwrapping* yang ada pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 disebabkan oleh dominasi vegetasi yang tinggi pada area penelitian.

PS-InSAR dalam aplikasinya mampu meminimalisir efek dekorelasi temporal, dekorelasi geometrik akibat dishomogenitas atmosfer juga menerapkan pemantauan titik-titik artifisial dari penampakan alami, obyek buatan manusia dan buatan pabrik (*reflector*) sebagai *Permanent Scatterers* untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran teknik PS-InSAR.



Gambar 4. 10 Fase *unwrapping* Pasangan Citra Akuisisi Tahun 2015



Gambar 4. 11 Fase *Unwrapping* Pasangan Citra Akuisisi Tahun 2016

4.2 Analisis Besar Penurunan Muka Tanah Area Studi

Data yang dihasilkan dari pengolahan PS-InSAR masih dalam bentuk *fringe*, kemudian ditransformasikan dalam konsep vektor. Analisis numerik dilakukan dengan metode hitung perataan. Metode hitung perataan digunakan untuk mengetahui dan memberikan bobot terhadap sebaran piksel PS yang berkualitas dalam konsep grid yang tidak beraturan. Asumsi yang digunakan dalam penelitian (Prasetyo 2014), sebagai berikut:

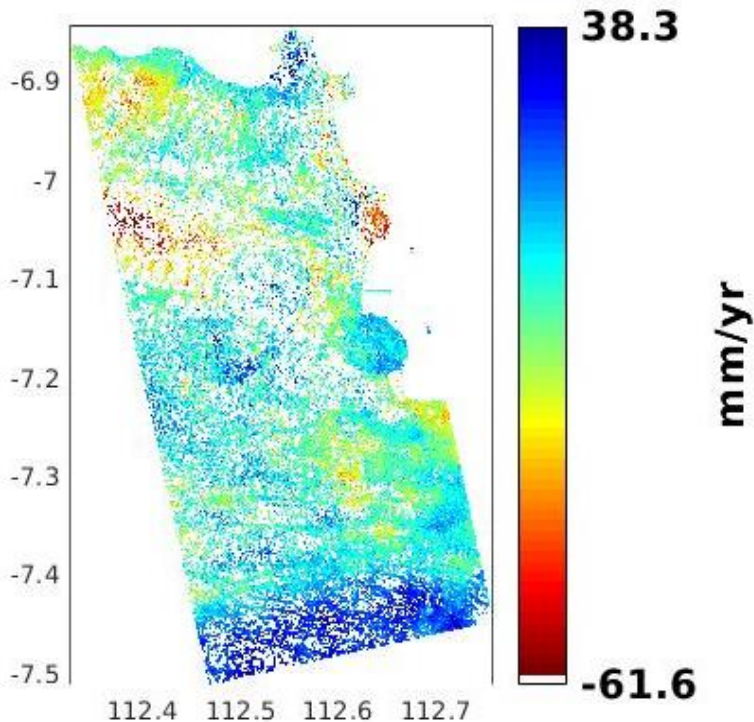
1. Fase residu (*residual phase*) dengan nilai kurang dari satu periodik fase dari hasil proses penapisan (*atmospheric phase screen*) terhadap sinyal atmosferik dianggap tidak terlalu signifikan (tahapan pengolahan LPS-InSAR).
2. Seluruh data pengamatan (citra SAR) dianggap memiliki bobot ketelitian yang sama berdasarkan metode estimator koherensi, tipe sensor radar, akurasi citra SAR dan metode koregistrasi.

Pola sebaran titik PS dari hasil pengolahan citra SAR didapatkan dari hasil pengolahan dengan menghasilkan 22 pasang citra interferogram yang dalam pengolahannya dibagi menjadi 2 tahap yakni tahap pertama a) Pasangan 1 April 2016 – 25 Mei 2015 ; b) Pasangan 1 April 2016 – 25 Mei 2015 ; c) Pasangan 1 April 2016 – 18 Juni 2015 ; d) Pasangan 1 April 2016 – 12 Juli 2015 ; e) Pasangan 1 April 2016 – 29 Agustus 2015 ; f) Pasangan 1 April 2016 – 22 September 2015 ; g) Pasangan 1 April 2016 – 15 Oktober 2015; h) Pasangan 1 April 2016 – 9 November 2015 ; i) Pasangan 1 April 2016 – 3 Desember 2015; j) Pasangan 1 April 2016 – 20 Januari 2016 dan tahap kedua a) Pasangan 1 April 2016 – 13 Februari 2016 ; b) Pasangan 1 April 2016 – 8 Maret 2016 ; c) Pasangan 1 April 2016 – 25 April 2016 ; d) Pasangan 1 April 2016 – 19 Mei 2016 ; e) Pasangan 1 April 2016 – 12 Juni 2016; f) Pasangan 1 April 2016 – 6 Juli 2016 ; f) Pasangan 1 April 2016 – 23 Agustus 2016; g) Pasangan 1 April 2016 – 16 September 2016 ; h) Pasangan 1 April 2016 – 27 November 2016 ; i) Pasangan

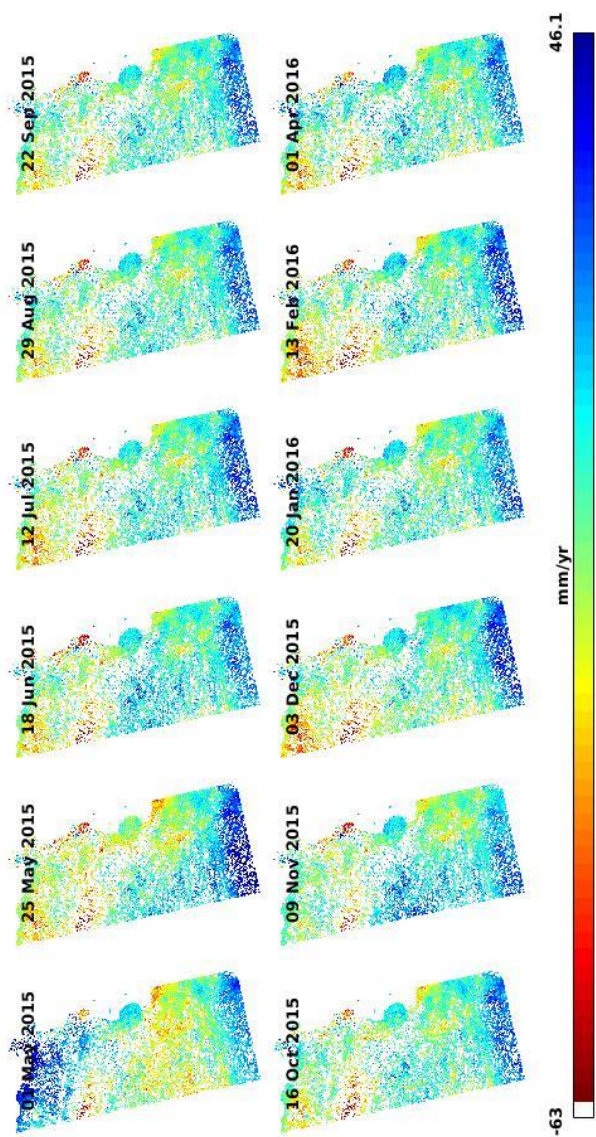
1 April 2016 – 21 Desember 2016 ; j) Pasang 1 April 2016 – 14 Januari 2017. Kemudian dari hasil 22 pasang citra interferogram akan didapatkan sebaran titik PS dengan grafik besar *LOS Displacement* (mm).

4.2.1 Sebaran titik PS Tahap Pertama

Pada pengolahan tahap pertama, hasil dari sebaran titik PS ditunjukkan pada Gambar 4.11 sebagai berikut :

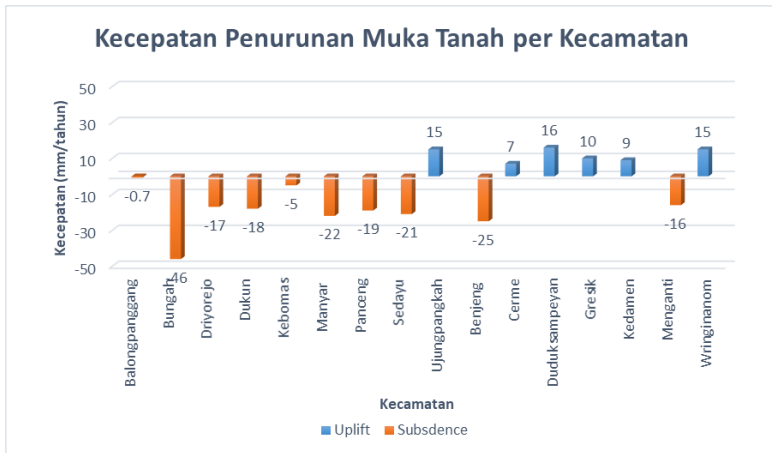


Gambar 4. 12 Peta Sebaran titik PS Tahap Pertama



Gambar 4. 13 LOS *displacement* Akuisisi Tahun 2015

Dari hasil pengolahan PS-InSAR menggunakan algoritma StaMPS tahap pertama diketahui bahwa pasangan citra tahap pertama mengalami penurunan permukaan tanah (deflasi) dengan nilai penurunan permukaan paling tinggi bernilai -54,95 mm/tahun dan penurunan paling rendah bernilai -15,35/tahun setelah dilakukan *subset* pada daerah penelitian.



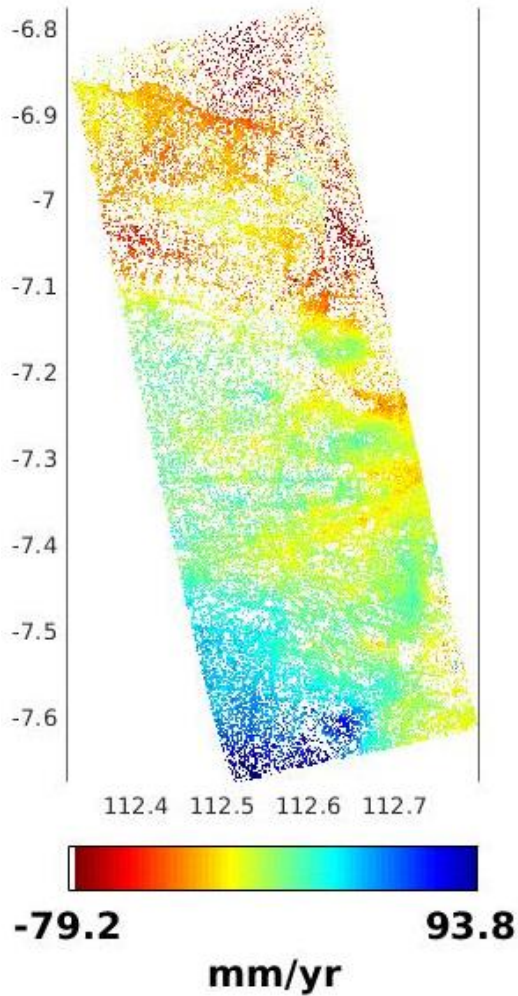
Gambar 4. 14 Grafik Kecepatan Penurunan Muka Tanah per Kecamatan

Kecepatan penurunan muka tanah tertinggi terjadi pada 6 Kecamatan diantaranya Kecamatan Panceng, Kecamatan Ujungpangkah, Kecamatan Sedayu, Kecamatan Bungah, Kecamatan Manyar dan Kecamatan Menganti.

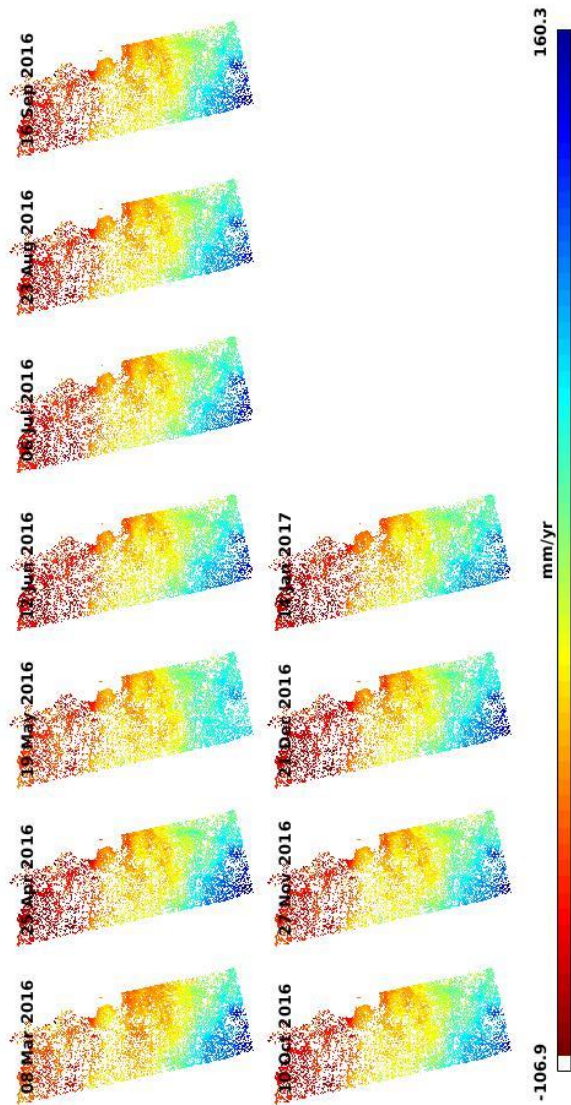
Penurunan muka tanah pada 6 Kecamatan tersebut tergolong penurunan muka tanah menengah-tinggi yaitu hingga mencapai - 46 mm/tahun.

4.2.2 Sebaran titik PS Tahap Kedua

Pada pengolahan tahap pertama, hasil dari sebaran titik PS ditunjukkan pada Gambar 4.11 sebagai berikut :

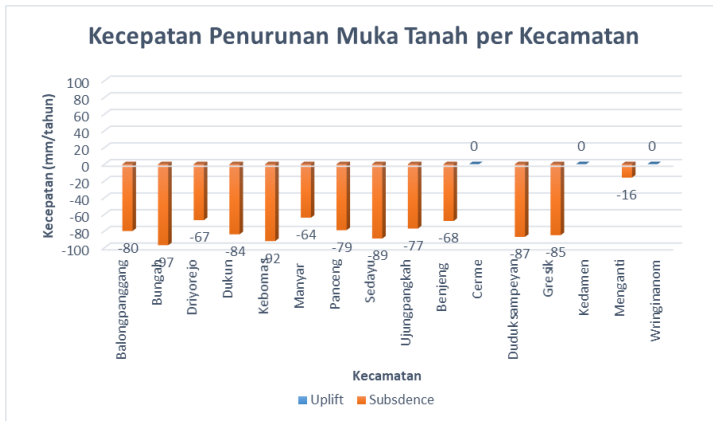


Gambar 4. 15 Peta Sebaran Titik PS Tahap Kedua



Gambar 4. 16 LOS *Displacement* Akuisisi Tahun 2016

Dari hasil pengolahan PS-InSAR menggunakan algoritma StaMPS tahap pertama diketahui bahwa pasangan citra tahap pertama mengalami penurunan permukaan tanah (deflasi) dengan nilai penurunan permukaan paling tinggi bernilai -91 mm/tahun dan penurunan paling rendah bernilai -16 mm/tahun.



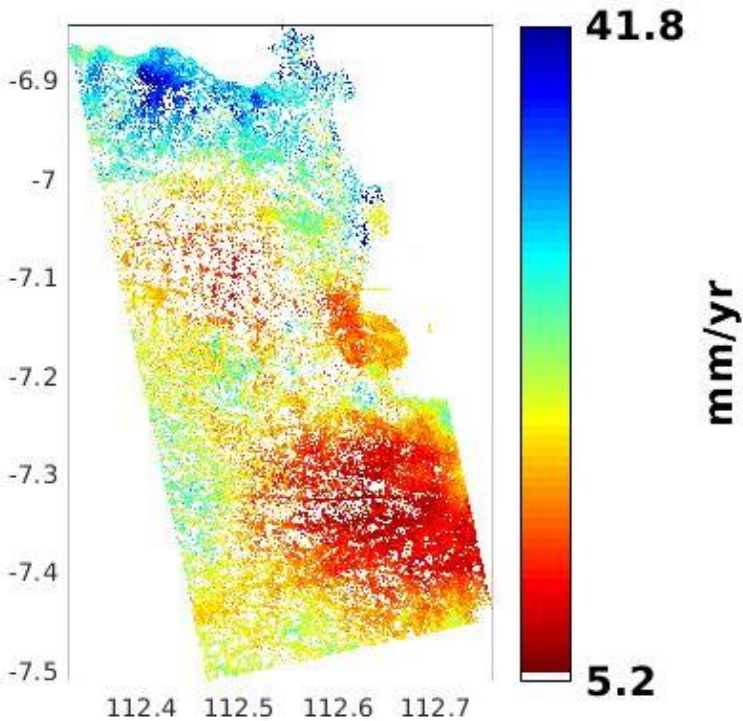
Gambar 4. 17 Grafik Kecepatan Penurunan Muka Tanah per Kecamatan

Kecepatan penurunan muka tanah tertinggi terjadi pada 13 Kecamatan diantaranya Kecamatan Balongpanggang, Kecamatan Panceng, Kecamatan Ujungpangkah, Kecamatan Driyorejo, Kecamatan Dukun, Kecamatan Benjeng, Kecamatan Sedayu, Kecamatan Bungah, Kecamatan Manyar, Kecamatan Kebomas, Kecamatan Dudusampeyan, Kecamatan Gresik dan Kecamatan Menganti.

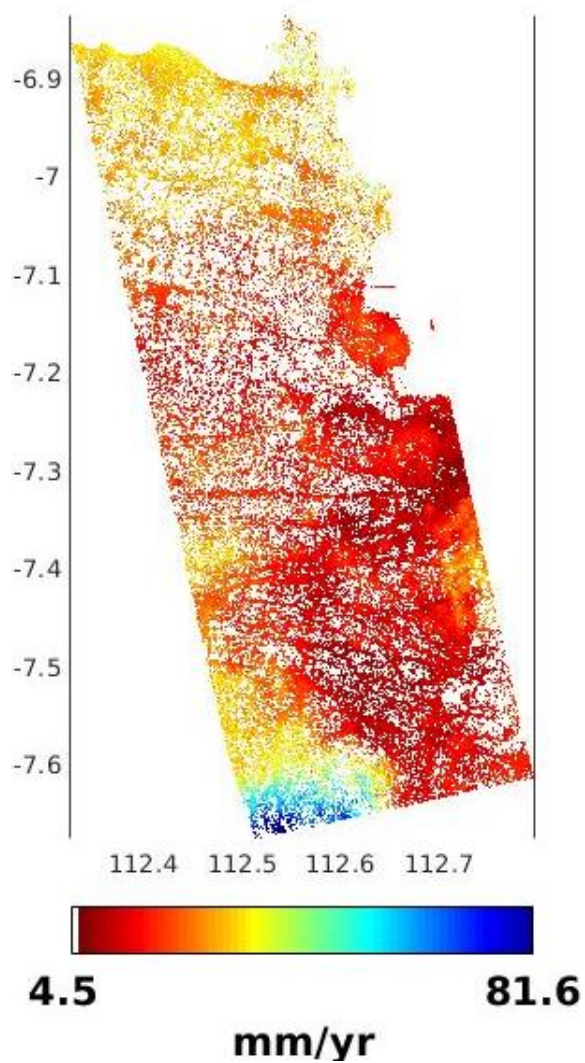
Penurunan muka tanah pada 13 kecamatan tersebut tergolong penurunan muka tanah yang tinggi yaitu hingga mencapai -91 mm/tahun.

4.2.3 Simpangan Baku Hasil Pengolahan PS-InSAR

Simpangan Baku (*standart deviation*) adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran sejumlah set nilai data. Dalam pengolahan PS-InSAR ini, data simpangan baku yang dihasilkan berbeda dari tiap tahap pengolahan seperti pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20.



Gambar 4. 18 Simpangan Baku Pengolahan SAR
Tahap 1



Gambar 4. 19 Simpangan Baku Pengolahan SAR Tahap 2

Kecamatan Kebomas dan Gresik berdasarkan hasil pengolahan memiliki nilai simpangan baku terkecil yaitu rentang 4,5 – 5,2 mm/tahun. Simpangan baku terkecil dari pengolahan data menunjukkan bahwa hasil sebaran titik PS dari pengolahan di Kecamatan Kebomas dan Gresik memiliki tingkat kepercayaan lebih tinggi dibandingkan hasil pengolahan di daerah kecamatan lainnya.

4.3 Analisis Terhadap Kondisi Geologi Daerah Penelitian

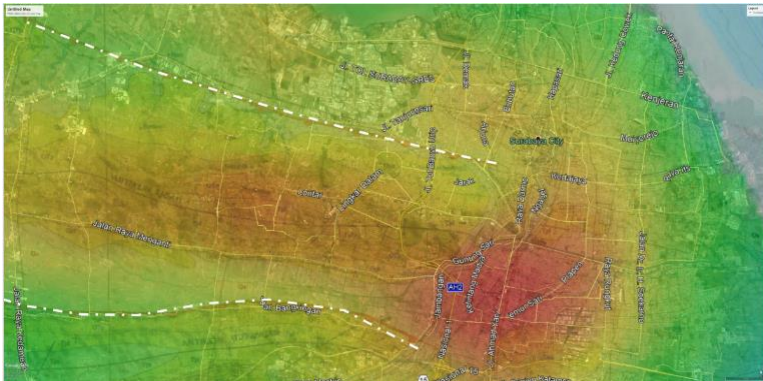
Kondisi Geologi Kabupaten Gresik didominasi oleh jenis tanah Aluvial. Pada dasarnya tipe tanah aluvial memiliki kerentanan terhadap daya topang beban (resistensi bobot) diatasnya. Penurunan muka tanah dapat secara *visual* diamati terhadap kondisi vertikal kedudukan bangunan-bangunan disekitar lokasi, retakan atau penurunan jalan aspal.

Pada pengolahan tahap pertama, penurunan muka tanah tertinggi sebagian besar terjadi di Kecamatan Bungah. Aktivitas lalu lintas dengan beban tonase kendaraan berlebih diidentifikasi sebagai salah satu penyebab terjadinya penurunan muka tanah di Kecamatan Bungah. Selain aktivitas lalu lintas, di Kecamatan Gresik lainnya juga terdapat aktivitas penambangan batu kapur yaitu bekas tambang PT Semen Indonesia seluas 265 hektar, meliputi wilayah Kecamatan Gresik, Kebomas dan Manyar. Selain di Kecamatan Bungah, area pertambangan kapur juga dijumpai di Kecamatan Ujungpangkah yang mana pada hasil pengolahan cenderung mengalami penurunan muka tanah (*subsidence*).

Selain dari faktor non-alam, proses tektonik yang terus berjalan mulai dari zaman Tersier hingga sekarang, banyak dijumpai adanya teras-teras sungai yang menunjukkan adanya perubahan *base of sedimentation* berupa pengangkatan pada Mandala Kendeng terutama pada wilayah Kabupaten Gresik juga menjadi salah satu indikasi dari penyebab penurunan muka tanah. Sungai utama yang mengalir di atas Mandala Kendeng adalah Bengawan Solo yang mengalir mulai dari utara Sragen ke timur hingga Ngawi, ke utara menuju Cepu dan membelok ke arah timur hingga

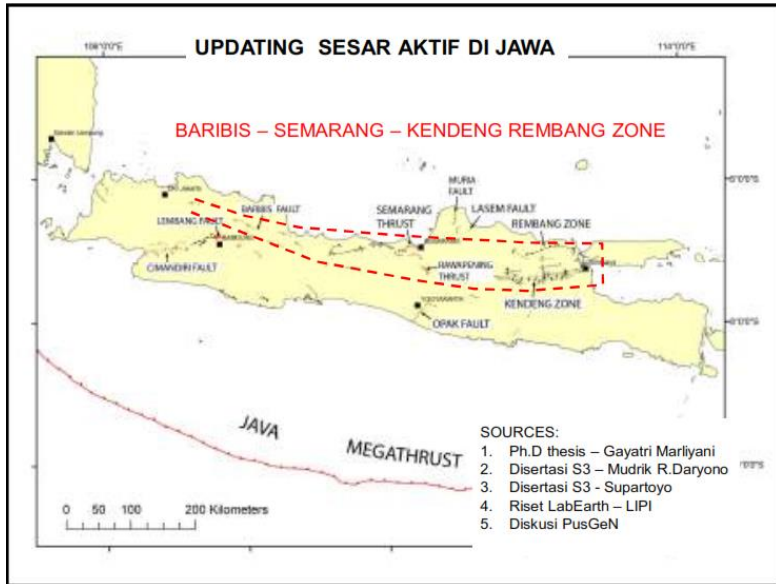
bermuara di Ujung Pangkah, utara Gresik sebagai muara sungai. Gempa yang terjadi pada 26 Januari 2015 di daerah Lamongan dan Gresik pada skala 4,3 skala *Richter* menurut BMKG Jogyakarta akibat aktivitas sesar lokal yang terdapat di wilayah Lamongan. Selain itu, 2 sesar yang aktif (Koulali dkk. 2016) diantaranya sesar Surabaya yang membentang mulai dari kawasan Keputih, Surabaya hingga Cerme, Gresik dan sesar Waru yang membentang mulai dari Rungkut, Surabaya hingga Jombang. Sesar Surabaya dan Sesar Waru tergolong dalam sesar naik sehingga pada polanya satu blok mengalami suatu kenaikan dan satu blok lainnya mengalami penurunan. Penurunan muka tanah akibat sesar turun tersebut terjadi pada Kecamatan Gresik di bagian Utara.

Struktur Geologi yang membentang di daerah rembang hingga Madura memiliki sifat tektonik yang lebih kuat dari pada di lajur Kendeng (Sukardi 1992).



Gambar 4. 20 Sesar Aktif yaitu Sesar Surabaya dan Sesar Waru
(sumber : Koulali dkk. 2016)

Pada pengolahan tahap kedua, penurunan muka tanah terjadi hampir di seluruh wilayah kabupaten Gresik Utara yaitu meliputi 13 Kecamatan diantaranya Kecamatan Balongpanggang, Kecamatan Panceng, Kecamatan Ujungpangkah, Kecamatan



Gambar 4. 21 Sesar Aktif Rembang di Pulau Jawa
Driyorejo, Kecamatan Dukun, Kecamatan Benjeng, Kecamatan Sedayu, Kecamatan Bungah, Kecamatan Manyar, Kecamatan Kebomas, Kecamatan Duduksampeyan, Kecamatan Gresik dan Kecamatan Meganti.

Untuk analisis terhadap area tambak seperti pada Kecamatan Sedayu dan Kecamatan Ujungpangkah menunjukkan bahwa sebaran titik PS tidak terlihat rapat dan cenderung kosong. Hal ini diindikasikan bahwa citra radar tidak memiliki energi pantulan yang baik, oleh karena itu untuk daerah tambak tidak memiliki nilai sebaran PS.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penurunan muka tanah di Kabupaten Gresik, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Penerapan metode PS-InSAR untuk analisis penurunan muka tanah dapat dilakukan pada daerah penelitian yaitu di Kabupaten Gresik secara akurat dan optimal.
- b. Pada pengolahan PS-InSAR, pengolahan dibagi menjadi 2 tahap yaitu tahap pertama dan tahap kedua. Pada pengolahan tahap pertama, pola sebaran titik PS dengan nilai penurunan muka tanah tertinggi meliputi 6 kecamatan diantaranya Kecamatan Panceng, Kecamatan Ujungpangkah, Kecamatan Sedayu, Kecamatan Bungah, Kecamatan Manyar dan Kecamatan Menganti dengan nilai hingga -46 mm/tahun. Sedangkan pada tahap pengolahan kedua, pola sebaran titik PS dengan nilai penurunan muka tanah tertinggi terjadi pada 13 Kecamatan diantaranya Kecamatan Balongpanggang, Kecamatan Panceng, Kecamatan Ujungpangkah, Kecamatan Driyorejo, Kecamatan Dukun, Kecamatan Benjeng, Kecamatan Sedayu, Kecamatan Bungah, Kecamatan Manyar, Kecamatan Kebomas, Kecamatan Dudusampeyan, Kecamatan Gresik dan Kecamatan Menganti dengan nilai hingga -91 mm/tahun.
- c. Penurunan muka tanah memiliki kaitan erat dengan struktur pembentuk tanah, perubahan muka air tanah, aktivitas tektonik, dan pemberian beban tonase berlebih pada daerah alluvial. Berbagai faktor alamiah dan non-alamiah tersebut saling memberikan kontribusi dalam percepatan konsolidasi alami penurunan muka tanah.
- d. Hasil pengolahan di Kecamatan Kebomas dan Gresik pada 2 tahap pengolahan memiliki tingkat kepercayaan lebih

tinggi dan memiliki kualitas yang baik dibandingkan hasil pengolahan di daerah kecamatan lainnya dengan rentang nilai deviasi standart 4,5 – 5,2 mm/tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis penurunan muka tanah di Kabupaten Gresik, maka diperoleh beberapa saran sebagai berikut :

- a. Pengolahan citra dengan menggunakan PS-InSAR pada dasarnya memberikan akurasi yang lebih baik dibanding menggunakan metode InSAR konvensional. Namun untuk uji validasi terhadap kondisi sebenarnya di lapangan, maka diperlukan adanya perbandingan data dengan pengukuran menggunakan GPS untuk mengetahui perbandingan hasil pengukuran menggunakan penginderaan jauh dengan pengukuran secara langsung di lapangan.
- b. Pada penelitian selanjutnya, penggunaan DEM eksternal disarankan menggunakan ekstraksi citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi (>30m) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
- c. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode pengembangan dari PS-InSAR yaitu SqueeSAR dengan kemampuan lebih baik dalam analisis dibandingkan PS-InSAR.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditiya, A., Takeuchi, W., dan Aoki, Y. 2017. "Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR- 2 over Surabaya City, Indonesia Land Subsidence Monitoring by InSAR Time Series Technique Derived From ALOS-2 PALSAR-2 over Surabaya City", Indonesia, *The 5th Geoinformation Science Symposium Series: Earth and Environmental Science*, 98. <URL : <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012010>> Dikunjungi pada tanggal 13 Juni 2018, jam 10:00
- Awaluddin Andika Rizal; Yuwono, Bambang Darmo; Aisyah, Nurnaning, M. B. 2013. "Analisis Deformasi Gunung Merapi Tahun 2012 Dari Data Pengamatan GPS", *Jurnal Geodesi Undip*, 2(Volume 2, Nomor 4, Tahun 2013), 1–9.
- ESA.2000. Asar Product Handbook. <URL : https://earth.esa.int/pub/ESA_DOC/ENVISAT/ASAR/asar.productHandbook.2_2.pdf> Dikunjungi pada 19 Desember 2017 jam 13:00
- ESA 2016. "Sentinel 1 Product Mode" <URL : <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/acquisition-modes>> Dikunjungi pada 15 Januari 2018 jam 18:00
- Febriyanti, R. F., dan Anjasmara, I. M. 2017. "Analisis Deformasi Permukaan Gunung Raung Menggunakan Teknologi Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) Berdasarkan Erupsi 28 Juni 2015", Vol 6 No.(2), 130.
- Feigl, K. L. 1998. "Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface", (97), 441–500.
- Ferretti, A., Monti-guarnieri, A., Prati, C., dan Rocca, F. 2003. *"Reference Documents, Privacy Online"*, 35-377. <URL : <https://doi.org/10.1787/9789264101630-5-en>> Dikunjungi pada 1 Februari 2018 jam 14:00
- Gamal, M. 2010. "Pemetaan Karakteristik Penurunan Muka Tanah (Mapping of Land Subsidence Characteristic using Geodetic

- Methods", 17–27.
- Gumilar, I., Abidin, H. Z., Hutasoit, L. M., Hakim, D. M., dan Sarsito, D. A. 2012. "Studi Pemantauan Penurunan Muka Tanah di Cekungan Bandung dengan Metode Survei GPS dan InSAR Penurunan muka tanah merupakan fenomena yang sering terjadi di kota-kota", *Indonesian Journal of Geospatial*, 1(4), 44–53.
- Gumilar, I., Abidin, H. Z., Sidiq, T. P., Andreas, H., Maiyudi, R., dan Gamal, M. 2013. "Mapping And Evaluating The Impact Of Land Subsidence In Semarang (Indonesia)", *Indonesian Journal of Geospatial*, 2(2), 26–41.
- Haniah, H., dan Prasetyo, Y. 2011. "Pengenalan Teknologi Radar untuk Pemetaan Spasial di Kawasan Tropis", *Teknik*, 32(2), 156–162.
- Iodice, A., Elettronica, I., dan Federico, N. 2009. "A Survey of Differential SAR Interferometry for Surface Displacement Monitoring", (October), 212–214.
- Ismullah, I. H. 2004. "Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (INSAR) Data Satelit", 36(1), 11–32.
- Ketelaar, G., Van Leijen, F., Marinkovic, P., dan Hanssen, R. 2005. "Initial point selection and validation in PS-InSAR using integrated amplitude calibration, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*", 8, 5490–5493. <URL : <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1525984>>
- Dikunjungi pada tanggal 13 Maret 2018, jam 09:45
- Koulali, A., Susilo, S., McClusky, S., Meilano, I., Cummins, P., Tregoning, P., Lister, G., Efendi, J., dan Syafi, M. A. 2016. "Crustal strain partitioning and the associated earthquake hazard in the eastern." <URL : <https://doi.org/10.1002/2016GL067941.1>> Dikunjungi pada tanggal 13 Juli 2018, jam 22:45
- Musazzi, S., Novali, F., Prati, C., dan Rocca, F. 2007. "Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation, 45(March 2013)", 1142–1153. <URL : <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.894440>>

- Dikunjungi pada tanggal 22 Maret 2018, jam 22:45
- Ng, A. H., Chang, H., Ge, L., Rizos, C., dan Omura, M. 2008. "Radar interferometry for ground subsidence monitoring using ALOS PALSAR data", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, 67–74.
- Prasetyo, Y., dan Subiyanto, S. 2014. "Menggunakan Metode Permanent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar (PS-InSAR) Di Kawasan Kota Cimahi - Jawa Barat", *Ejournal.Undip.Ac.Id*, 35(2), 78–85.
- Saputro, E. A., Kahar, S., dan Sasmito, B. 2011. "Deteksi Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Dengan Teknik Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DINSAR) Menggunakan Software Roi _ Pac Berbasis Open Source", 1–7.
- Sudiana, D., Rokhmatuloh, Rizkinia, M., Ardiansyah, Arief, R., Setiadi, B., Bayuaji, L., dan Sri Sumantyo, J. T. 2014. "Analysis of land deformation on slope area using PS InSAR. Case study: Malang area", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 19(1). <URL : <https://doi.org/10.1088/1755-1315/19/1/012011>>
- Dikunjungi pada tanggal 9 Juli 2018, jam 08:45
- Sukardi 1992. "Geologi Lembar Surabaya, Sapulu, Jawa. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Suber Daya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia.
- Usai, S. (2015): *A New Approach for Longterm Monitoring of Deformations by Differential SAR Interferometry*, 165. <URL : <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004> >
- Dikunjungi pada tanggal 3 Februari 2018, jam 10:35

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1. Metadata Data SAR Sentinel 1A Tahap Pertama Tanggal Akuisisi 1 April 2016

Name	Value	Type	Unit	Description
PRODUCT	S1A_IW_SLC__1SSV_20160401T104947_2016040	ascii		Product name
PRODUCT_TYPE	SLC	ascii		Product type
SPH_DESCRIPTOR	Sentinel-1 IW Level-1 SLC Product	ascii		Description
MISSION	SENTINEL-1A	ascii		Satellite mission
ACQUISITION_MODE	IW	ascii		Acquisition mode
antenna_pointing	right	ascii		Right or left facing
BEAMS	-	ascii		Beams used
SWATH	IW1	ascii		Swath name
PROC_TIME	01-APR-2016 11:56:36.281585	uint32	utc	Processed time
Processing_system_idenfier	ESA Sentinel-1 IPF 002.62	ascii		Processing system identifier
orbit_cycle	75	int32		Cycle
REL_ORBIT	54	int32		Track
ABS_ORBIT	10626	int32		Orbit
STATE_VECTOR_TIME	01-APR-2016 10:48:45.966866	uint32	utc	Time of orbit state vector
VECTOR_SOURCE	-	ascii		State vector source
incidence_near	30.77531623840332	float64	deg	
incidence_far	36.55891357264125	float64	deg	
slice_num	2	int32		Slice number
data_take_id	64798	int32		Data take identifier
first_line_time	01-APR-2016 10:49:47.992509	uint32	utc	First zero doppler azimuth time
last_line_time	01-APR-2016 10:50:04.839849	uint32	utc	Last zero doppler azimuth time
first_near_lat	-7.924206274466037	float64	deg	
first_near_long	112.2280044491856	float64	deg	
first_far_lat	-7.753504898047677	float64	deg	
first_far_long	112.9938120603808	float64	deg	
last_near_lat	-6.909025738889905	float64	deg	
last_near_long	111.9932338420463	float64	deg	
last_far_lat	-6.738968938759974	float64	deg	
last_far_long	112.7592441270991	float64	deg	

Name	Value	Type	Unit	Description
PASS	ASCENDING	ascii		ASCENDING or DESCENDING
SAMPLE_TYPE	COMPLEX	ascii		DETECTED or COMPLEX
mds1_tx_rx_polar	VV	ascii		Polarization
mds2_tx_rx_polar	-	ascii		Polarization
mds3_tx_rx_polar	-	ascii		Polarization
mds4_tx_rx_polar	-	ascii		Polarization
polar_data	0	uint8	flag	Polarimetric Matrix
algorithm	-	ascii		Processing algorithm
azimuth_looks	1.0	float64		
range_looks	1.0	float64		
range_spacing	2.329562	float64	m	Range sample spacing
azimuth_spacing	14.0543	float64	m	Azimuth sample spacing
pulse_repetition_frequency	1717.128973878037	float64	Hz	PRF
radar_frequency	5405.000454334349	float64	MHz	Radar frequency
line_time_interval	0.002055556299999998	float64	s	
total_size	741882891	uint32	MB	Total product size
num_output_lines	8928	uint32	lines	Raster height
num_samples_per_line	20603	uint32	samples	Raster width
subset_offset_x	0	uint32	samples	X coordinate of UL corner of subset in original image
subset_offset_y	0	uint32	samples	Y coordinate of UL corner of subset in original image
srgr_flag	0	uint8	flag	SRGR applied
avg_scene_height	164.06173421743446	float64	m	Average scene height ellipsoid
map_projection	-	ascii		Map projection applied
is_terrain_corrected	0	uint8	flag	orthorectification applied
DEM	-	ascii		Digital Elevation Model used
geo_ref_system	-	ascii		geographic reference system
lat_pixel_res	99999.0	float64	deg	pixel resolution in geocoded image
lon_pixel_res	99999.0	float64	deg	pixel resolution in geocoded image
slant_range_to_first_pixel	800361.900066446	float64	m	Slant range to 1st data sample

ant_elev_corr_flag	0	uint8	flag	Antenna elevation applied
range_spread_comp_flag	0	uint8	flag	range spread compensation applied
replica_power_corr_flag	0	uint8	flag	Replica pulse power correction applied
abs_calibration_flag	0	uint8	flag	Product calibrated
calibration_factor	99999.0	float64	dB	Calibration constant
chirp_power	99999.0	float64		Chirp power
inc_angle_comp_flag	0	uint8	flag	incidence angle compensation applied
ref_inc_angle	99999.0	float64		Reference incidence angle
ref_slant_range	99999.0	float64		Reference slant range
ref_slant_range_exp	99999.0	float64		Reference slant range exponent
rescaling_factor	99999.0	float64		Rescaling factor
range_sampling_rate	64.34523812571427	float64	MHz	Range Sampling Rate
range_bandwidth	56.5	float64	MHz	Bandwidth total in range
azimuth_bandwidth	327.0	float64	Hz	Bandwidth total in azimuth
multilook_flag	0	uint8	flag	Multilook applied
coregistered_stack	1	uint8	flag	Coregistration applied
external_calibration_file	-	ascii		External calibration file used
orbit_state_vector_file	Sentinel Precise S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD	ascii		Orbit file used
metadata_version	6.0	ascii		AbsMetadata version
centre_lat	-7.109961749675044	float64		
centre_lon	113.20768509026018	float64		
centre_heading	347.24713613430947	float64		
centre_heading2	167.24745412113393	float64		

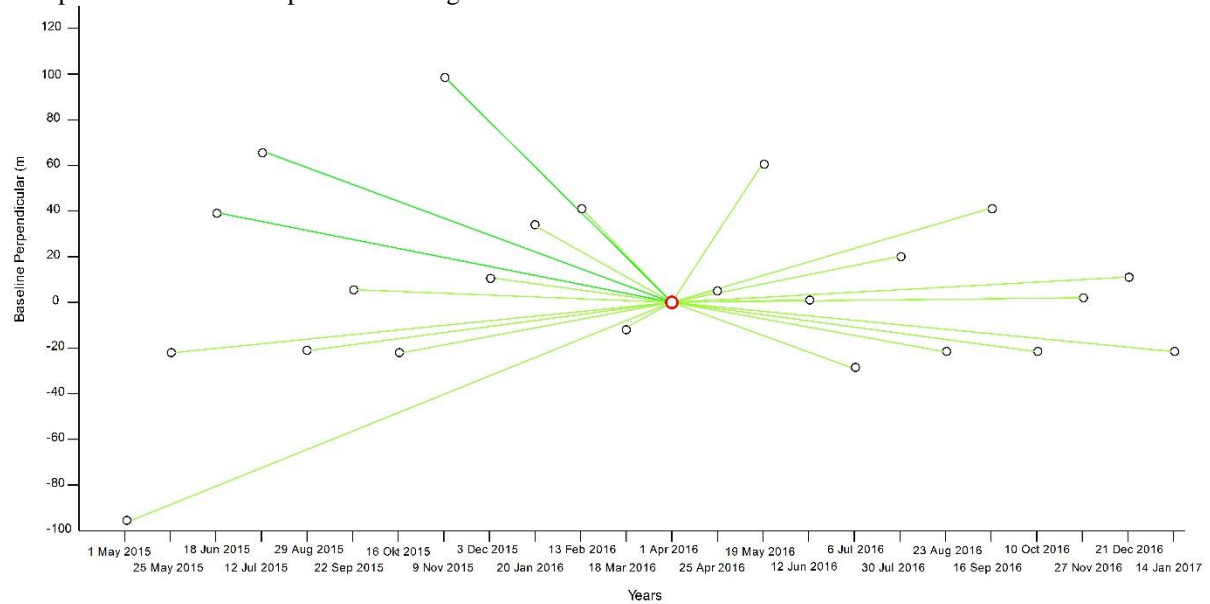
Lampiran 2. Metadata Data SAR Sentinel 1A Tahap Kedua Tanggal Akuisisi 1 April 2016

Name	Value	Type	Unit	Description
PRODUCT	S1A_IW_SLC__1SSV_20160401T104947_2016040	ascii		Product name
PRODUCT_TYPE	SLC	ascii		Product type
SPH_DESCRIPTOR	Sentinel-1 IW Level-1 SLC Product	ascii		Description
MISSION	SENTINEL-1A	ascii		Satellite mission
ACQUISITION_MODE	IW	ascii		Acquisition mode
antenna_pointing	right	ascii		Right or left facing
BEAMS	-	ascii		Beams used
SWATH	IW1	ascii		Swath name
PROC_TIME	01-APR-2016 11:56:36.281585	uint32	utc	Processed time
Processing_system_identifier	ESA Sentinel-1 IPF 002.62	ascii		Processing system identifier
orbit_cycle	75	int32		Cycle
REL_ORBIT	54	int32		Track
ABS_ORBIT	10626	int32		Orbit
STATE_VECTOR_TIME	01-APR-2016 10:48:45.966866	uint32	utc	Time of orbit state vector
VECTOR_SOURCE	-	ascii		State vector source
incidence_near	30.77531623840332	float64	deg	
incidence_far	36.55891357264125	float64	deg	
slice_num	2	int32		Slice number
data_take_id	64798	int32		Data take identifier
first_line_time	01-APR-2016 10:49:47.992509	uint32	utc	First zero doppler azimuth time
last_line_time	01-APR-2016 10:50:04.839849	uint32	utc	Last zero doppler azimuth time
first_near_lat	-7.924206274466037	float64	deg	
first_near_long	112.2280044491856	float64	deg	
first_far_lat	-7.753504898047677	float64	deg	
first_far_long	112.9938120603808	float64	deg	
last_near_lat	-6.909025738889905	float64	deg	
last_near_long	111.9932338420463	float64	deg	
last_far_lat	-6.738968938759974	float64	deg	
last_far_long	112.7592441270991	float64	deg	

PASS	ASCENDING	ascii		ASCENDING or DESCENDING
SAMPLE_TYPE	COMPLEX	ascii		DETECTED or COMPLEX
mds1_bx_rx_polar	VV	ascii		Polarization
mds2_bx_rx_polar	-	ascii		Polarization
mds3_bx_rx_polar	-	ascii		Polarization
mds4_bx_rx_polar	-	ascii		Polarization
polsar_data	0	uint8	flag	Polarimetric Matrix
algorithm	-	ascii		Processing algorithm
azimuth_looks	1.0	float64		
range_looks	1.0	float64		
range_spacing	2.329562	float64	m	Range sample spacing
azimuth_spacing	14.0543	float64	m	Azimuth sample spacing
pulse_repetition_frequency	1717.128973878037	float64	Hz	PRF
radar_frequency	5405.000454334349	float64	MHz	Radar frequency
line_time_interval	0.002055556299999998	float64	s	
total_size	741882891	uint32	MB	Total product size
num_output_lines	8928	uint32	lines	Raster height
num_samples_per_line	20603	uint32	samples	Raster width
subset_offset_x	0	uint32	samples	X coordinate of UL corner of subset in original image
subset_offset_y	0	uint32	samples	Y coordinate of UL corner of subset in original image
srgr_flag	0	uint8	flag	SRGR applied
avg_scene_height	164.06173421743446	float64	m	Average scene height ellipsoid
map_projection	-	ascii		Map projection applied
is_terrain_corrected	0	uint8	flag	orthorectification applied
DEM	-	ascii		Digital Elevation Model used
geo_ref_system	-	ascii		geographic reference system
lat_pixel_res	99999.0	float64	deg	pixel resolution in geocoded image
lon_pixel_res	99999.0	float64	deg	pixel resolution in geocoded image
slant_range_to_1st_pixel	800361.900066446	float64	m	Slant range to 1st data sample

ant_elev_corr_flag	0	uint8	flag	Antenna elevation applied
range_spread_comp_flag	0	uint8	flag	range spread compensation applied
replica_power_corr_flag	0	uint8	flag	Replica pulse power correction applied
abs_calibration_flag	0	uint8	flag	Product calibrated
calibration_factor	99999.0	float64	dB	Calibration constant
chirp_power	99999.0	float64		Chirp power
inc_angle_comp_flag	0	uint8	flag	incidence angle compensation applied
ref_inc_angle	99999.0	float64		Reference incidence angle
ref_slant_range	99999.0	float64		Reference slant range
ref_slant_range_exp	99999.0	float64		Reference slant range exponent
rescaling_factor	99999.0	float64		Rescaling factor
range_sampling_rate	64.34523812571427	float64	MHz	Range Sampling Rate
range_bandwidth	56.5	float64	MHz	Bandwidth total in range
azimuth_bandwidth	327.0	float64	Hz	Bandwidth total in azimuth
multilook_flag	0	uint8	flag	Multilook applied
coregistered_stack	1	uint8	flag	Coregistration applied
external_calibration_file	-	ascii		External calibration file used
orbit_state_vector_file	Sentinel Precise S1A_OPER_AUX_POEORB_OPOD	ascii		Orbit file used
metadata_version	6.0	ascii		AbsMetadata version
centre_lat	-7.109961749675044	float64		
centre_lon	113.20768509026018	float64		
centre_heading	347.24713613430947	float64		
centre_heading2	167.24745412113393	float64		

Lampiran 3. Baseline Perpendicular Pengolahan PS-InSAR



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Rizki Fahrudin Ulin atau yang biasa disapa Rizki, Ulin, lahir di Magetan, 29 Januari 1995. Penulis pernah menempuh pendidikan formal di SDN Pacalan I Magetan, SMP Negeri 4 Magetan, dan SMA Negeri 1 Magetan. Pada tahun 2014, tepat setelah 1 tahun lulus dari SMA, penulis memilih melanjutkan pendidikan di jenjang perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengikuti program SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Geomatika – FTSP, ITS pada tahun 2014 terdaftar dengan NRP 3514100076. Sebagai bentuk ketertarikannya pada bidang penginderaan jauh, Geodinamika dan fenomena alam, dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul “Penerapan Metode PS-InSAR (Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar) Untuk Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Gresik Jawa Timur” sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”